



การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้น
ชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยขานอ้อย

PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR CHARCOAL POWDER AND BAGASSE FIBER

ณัฐพัชร วิเชียรรัตน์

NATTAPAT WICHIANRAT

นิธิวิทย์ สอาด

NITIWIT SA-ARD

วิทยา เทียมกิ่งทอง

WITTAYA THIAMKINGTHONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้น
ชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยขานอ้อย
PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR CHARCOAL POWDER AND BAGASSE FIBER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR CHARCOAL POWDER AND BAGASSE FIBER



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHONE CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้น
ชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยขานอ้อย

PROJECT TITLE PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR CHARCOAL POWDER AND BAGASSE FIBER

ชื่อนักศึกษา นายณัฐพัชร วิเชียรรัตน์ รหัสประจำตัว 61512038
นายนิธิวิทย์ สะอาด รหัสประจำตัว 61512049
นายวิทยา เทียมกิ่งทอง รหัสประจำตัว 61512070

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์	กรรมการ	
ผศ.ดร.นารถระพี นาคะวิจนะ	กรรมการ	
ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล	กรรมการ	
ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 11 กรกฎาคม 2565 เวลา 13.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ สอบแบบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 กรกฎาคม 2565

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐพัชร	วิเชียรรัตน์	รหัสประจำตัว 61512038
	นายนิธิวิทย์	สะอาด	รหัสประจำตัว 61512049
	นายวิทยา	เทียมกิ่งทอง	รหัสประจำตัว 61512070
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช		
ปริญญานิพนธ์			

บทคัดย่อ

กระบวนการลดความชื้นด้วยสารดูดซับเป็นกระบวนการสำคัญที่มีการใช้งานหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น การลดปริมาณความชื้นในแก๊ส การรักษาบรรยากาศแห้งในพื้นที่หรือภาชนะปิด การควบคุมความชื้นในคลังสินค้า หรือกระบวนการทำให้ก๊าซแห้งในโรงงานอุตสาหกรรม โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อสมรรถนะของการลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย ชุดลดความชื้นเป็นลักษณะทรงบอกซึ่งทำจากท่ออะคริลิกใสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 94 มิลลิเมตร ยาว 88 มิลลิเมตร ภายในบรรจุสารดูดซับปริมาณ 300 กรัม การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) แบบ central composite design (CCD) สำหรับศึกษาผลของตัวแปรอุณหภูมิของอากาศที่ 25 28 33 37 และ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นที่ 10 12 15 18 และ 20 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศที่ 60 72 90 108 และ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิ อัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหลของอากาศของอากาศเป็นตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล ส่วนอัตราการไหลของอากาศเป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อความดันลดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย จากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าสำหรับชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดผงถ่านชาร์โคลจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 0.96 กิโลปาสกาล และ 40.0 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดเส้นใยชานอ้อยจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 0.82 กิโลปาสกาล และ 20.8 กรัมต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: กระบวนการลดความชื้นด้วยสารดูดซับ, ผงถ่านชาร์โคล, เส้นใยชานอ้อย

Project Title	PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE FOR CHARCOAL POWDER AND BAGASSE FIBER	
Student	Mr. Nattapat Wichinrat	Student ID 61512038
	Mr. Nitiwit Sa-ard	Student ID 61512049
	Mr. Wittiya Thiamkingthong	Student ID 61512070
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Dr. Visit Eakvanich	

ABSTRACT

Desiccant dehumidification processes are important operation in various applications such as drying gases, maintaining a dry atmosphere in a closed space or container, controlling humidity in warehouses, or drying process and industrial gases. This research aims to study parametric effects on dehumidification performance for charcoal powder and bagasse fiber. The dehumidifiers were cylindrical packed bed (an acrylic tube), with a diameter of 94 mm, a length of 88 mm, and containing 300 g of adsorbent material. The response surface methodology (RSM) with central composite design (CCD) was employed to study the effects of operating parameter. The temperatures were kept around 25, 28, 33, 37, and 40°C, when the humidity ratios are 10, 12, 15, 18, and 20 g_w/kg_{da} . Moreover, the flow rates of supply air were controlled around 60, 72, 90, 108, 120 kg/h. The results shown that the temperature, humidity ratio, flow rate were effects on the adsorption rate for charcoal powder. Moreover, the flow rates were main effects on the pressure drop for charcoal powder and bagasse fiber. In short, the average operating parameters of the air temperature, the humidity ratio and the mass flow rate were 33°C, 15 g_w/kg_{da} , and 90 kg/h, respectively. For the charcoal powder bed dehumidifier, the average pressure drop and the adsorption rate were 0.96 kPa and 40.0 g_w/h , respectively. In other hand, for the bagasse fiber bed dehumidifier, the pressure drop and the adsorption rate are 0.82 kPa and 20.8 g_w/h .

Keywords: Desiccant dehumidification processes, charcoal powder, bagasse fiber

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่ยศเรพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดลดความชื้นแบบใช้ผงถ่านซารีโคล และเส้นใยชานอ้อย

ณัฐพัชร วิเชียรรัตน์

นิติวิทย์ สอาด

วิทยา เทียมกิ่งทอง

กรกฎาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 สถานที่ดำเนินงาน	2
1.6 สถานที่ดำเนินงาน	3
1.7 แผนดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความชื้นในอากาศ (Air humidity)	5
2.2 ความกดไอน้ำ (Vapor pressure)	5
2.3 การวัดความชื้น (Humidity measurement)	5
2.3.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)	5
2.3.2 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity)	6
2.3.3 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)	6
2.4 กระบวนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดซับความชื้น	6
2.5 การหาความสามารถในการลดความชื้น	6
2.5.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)	6
2.6 วิธีนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่ (Adsorbent regeneration)	7
2.6.1 ระบบดูดซับแบบแปรอุณหภูมิ (Temperature swing adsorption, TSA)	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 ระบบดูดซับแบบสลับความดัน (Pressure swing adsorption, PSA)	7
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย	8
2.8 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของอากาศ	
2.8.1 ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม	8
2.8.2 ไฮโกรมิเตอร์แบบกระดาษเปียก-กระดาษแห้ง หรือไฮโครมิเตอร์ (Psychrometer)	8
2.9 ผงถ่านชาร์โคล (Charcoal powder)	9
2.9.1 การเผาผงถ่านชาร์โคล	9
2.9.2 การอัดแท่งผงถ่านชาร์โคล	10
2.10 เส้นใยชานอ้อย (Bagasse fiber)	10
2.10.1 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อชานอ้อย	12
2.11 วิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของพื้นผิวการตอบสนอง	12
2.11.1 การออกแบบสวนประสมกลาง	13
2.12 การหาอัตราการไหลของอากาศ (Air flow rate)	15
2.13 การหาอัตราการดูดซับความชื้น (Adsorption rate)	15
2.14 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	18
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	18
3.2 ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปสารดูดซับ	29
3.2.1 ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปผงถ่านชาร์โคล	29
3.2.2 ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปใยชานอ้อย	31
3.3 การออกแบบตารางการทดลอง	32
3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	33
3.4.1 ขั้นตอนการทดลองผงถ่านชาร์โคลและใยชานอ้อย	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	40
4.1 ผลการทดลองแสดงค่าความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้น ของผงถ่านชาร์โคล	40
4.1.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับ	41
4.2 ผลการของการทดสอบความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้น ของใยชานอ้อย	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย	4
ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อชานอ้อย	
ตารางที่ 3.1 การทดลองที่ต้องการศึกษา (ตัวแปรต้น)	12
ตารางที่ 3.2 ผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา (ตัวแปรตาม)	32
ตารางที่ 3.3 ค่าที่ใช้ในการทดลอง	32
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงค่าความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	33
ตารางที่ 4.1.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดลองของผงถ่านชาร์โคลในช่วงอัตราการไหลที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	42
ตารางที่ 4.1.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดลองของผงถ่านชาร์โคลในช่วงอัตราความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง	43
ตารางที่ 4.1.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดลองของผงถ่านชาร์โคลในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส	44
ตารางที่ 4.1.4 แสดงค่าความเที่ยงตรงของสมการอัตราการดูดซับความชื้นที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	48
ตารางที่ 4.1.5 ค่า P-Value ของสมการอัตราการดูดซับความชื้นที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	49
ตารางที่ 4.1.6 ค่าความเที่ยงตรงของสมการความดันตกคร่อมที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	53
ตารางที่ 4.1.7 ค่า P-Value ของสมการความดันตกคร่อมที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	53
ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองการลดความชื้นชนิดใยชานอ้อย ในช่วงอุณหภูมิอากาศ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นอากาศ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	55
ตารางที่ ข.1-19 ตารางบันทึกผลการทดลอง	76

สารบัญรูปรูปภาพ

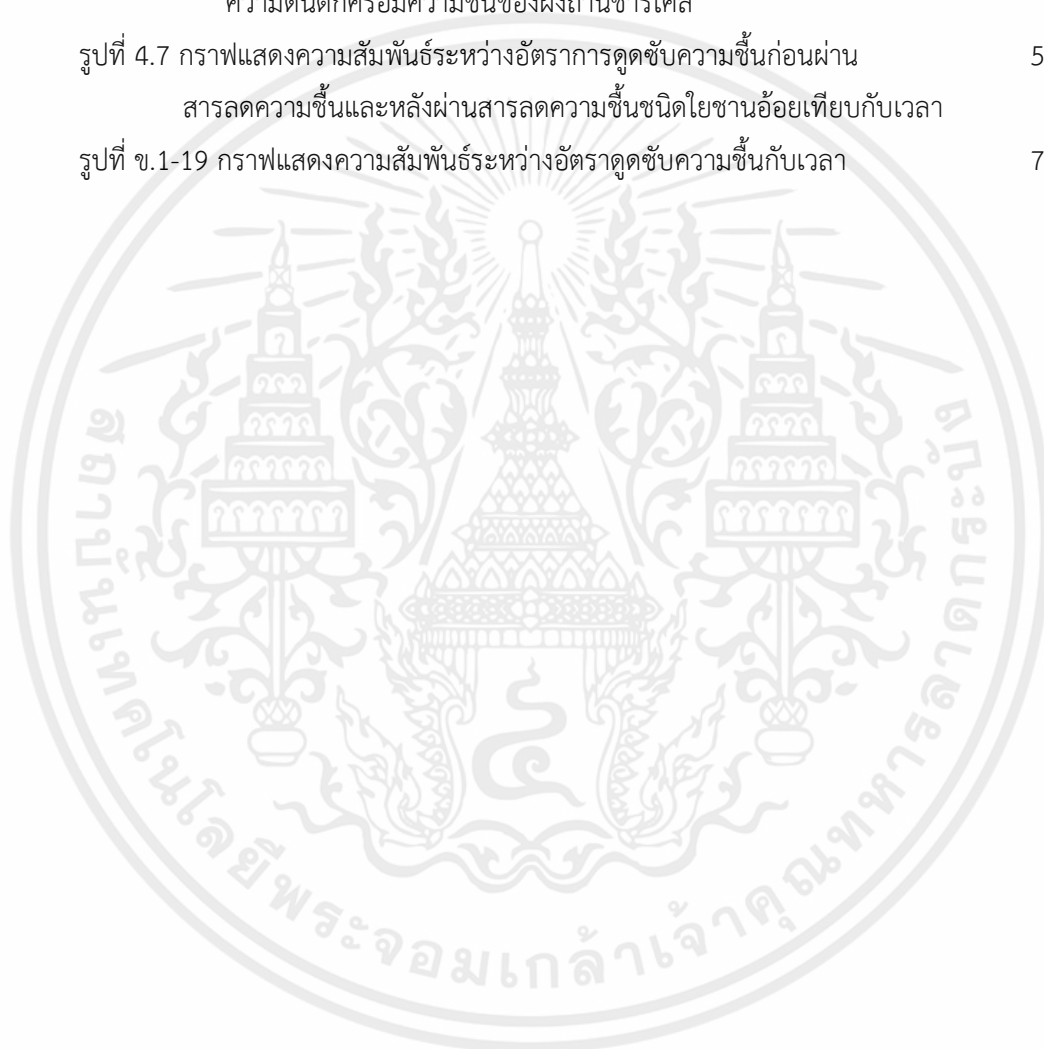
รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดลดความชื้น ชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย	3
รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)	7
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างตารางแสดงผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์มอมิเตอร์กระเปาะแห้ง และกระเปาะเปียก	9
รูปที่ 2.3 ลักษณะรูพรุนของเส้นใยชานอ้อย	11
รูปที่ 2.4 ลักษณะรูพรุนของเส้นใยชานอ้อย	11
รูปที่ 2.5 ลักษณะรูพรุนของเส้นใยชานอ้อย	11
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟพื้นผิวตอบสนอง	13
รูปที่ 2.7 โครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง	13
รูปที่ 2.8 การออกแบบ Inscribed CCD for three factors with four centerpoints	14
รูปที่ 2.9 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CCD สำหรับ 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัย	15
รูปที่ 3.1 ผงถ่านชาร์โคล	18
รูปที่ 3.2 ใยชานอ้อยที่อัดขึ้นรูปแล้ว	19
รูปที่ 3.3 เครื่องชุดทดลองลดความชื้น	19
รูปที่ 3.4 ครอบอะคริลิกใส่สารทดลอง	19
รูปที่ 3.5 เครื่องเป่าลมแรงดันสูง	20
รูปที่ 3.6 ชุดลดความร้อน แบบรังผึ้ง	20
รูปที่ 3.7 ชุดควบคุมอุปกรณ์ของชุดทดลอง	21
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า	21
รูปที่ 3.9 ชุดควบคุมชุดลดความร้อน	22
รูปที่ 3.10 ชุดปั้มน้ำและตัวควบคุมความชื้น	22
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ควบคุมความชื้น	23
รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง	23
รูปที่ 3.13 โหลแก้ว	24
รูปที่ 3.14 ถาดอะลูมิเนียม	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 3.15 ตู้อบแบบอากาศหมุนเหวียน	24
รูปที่ 3.16 เซนเซอร์วัดความเร็วลม	25
รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิ	25
รูปที่ 3.18 เครื่องมือวัดความดันตกคร่อม ยี่ห้อ Benetech รุ่น GM510	26
รูปที่ 3.19 เหล็กกลมตันและเหล็กกลมกลวง	26
รูปที่ 3.20 กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์	27
รูปที่ 3.21 เครื่องตีแป้ง หรือเครื่องกวน	27
รูปที่ 3.22 เครื่องอัดไฮดรอลิคแบบแผ่นกดร่อน	28
รูปที่ 3.23 แม่พิมพ์ขึ้นงาน	28
รูปที่ 3.24 ผงถ่านชาร์โคล	29
รูปที่ 3.25 คลุกเคล้าผงถ่านชาร์โคลกับแป้งให้เข้ากัน	29
รูปที่ 3.26 การอัดผงถ่านชาร์โคลเข้าแท่งเหล็กทรงกระบอก	30
รูปที่ 3.27 น้ำหนักสารก่อนอบและหลังอบไล่ความชื้น	30
รูปที่ 3.28 ผงถ่านชาร์โคลอัดแท่งที่ใช้เป็นสารลดความชื้น	31
รูปที่ 3.29 ตัวอย่างขึ้นงานเส้นใยชานอ้อย 100 เปอร์เซ็นต์	31
รูปที่ 3.30 ตารางบันทึกผลการทดลอง	33
รูปที่ 3.31 ผงถ่านชาร์โคลในโหลแก้ว	34
รูปที่ 3.32 ใยชานอ้อยในโหลแก้ว	34
รูปที่ 3.33 ตู้ควบคุมชุดทดลอง	34
รูปที่ 3.34 การวัดความเร็วลม	35
รูปที่ 3.35 ปรับอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศ	35
รูปที่ 3.36 เทสารดูดซับลงในท่อทดลอง	36
รูปที่ 3.37 สารดูดซับเต็มท่อทดลอง	36
รูปที่ 3.38 วัดความเร็วลมที่ปากทางออก	37
รูปที่ 3.39 จดบันทึกค่าการทดลอง	37
รูปที่ 3.40 เทสารดูดซับลงในถุงซิບเพื่อเตรียมนำไปการอบไล่ความชื้นเพื่อทดลองซ้ำ	38
รูปที่ 3.41 ถ่านในถาดอลูมิเนียม	38
รูปที่ 3.42 อบผงถ่านชาร์โคล	39

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 4.1-4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ช่วงการทดลองในสภาวะต่างๆเมื่อเทียบกับ อัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	45
รูปที่ 4.4-4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ช่วงการทดลองในสภาวะต่างๆเมื่อเทียบกับ ความดันตกคร่อมความชื้นของผงถ่านชาร์โคล	50
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นก่อนผ่าน สารลดความชื้นและหลังผ่านสารลดความชื้นชนิดโพลิซานอ้อยเทียบกับเวลา	56
รูปที่ ข.1-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา	76



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันสภาพอากาศในประเทศไทยมีระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ด้วยความชื้นสูงขนาดนี้ในด้านการผลิตทางอุตสาหกรรมความชื้นอาจส่งผลให้คุณภาพในอากาศภายในอาคารลดลงทำให้เกิดเชื้อรา และมีส่วนต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เมื่อได้รับความชื้นก็อาจจะทำให้เกิดสนิมขึ้นได้ การผลิตทางอุตสาหกรรมที่ต้องการสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำ เช่น การผลิตยา การแปรรูปอาหาร

โดยส่วนใหญ่การลดความชื้นในอากาศสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การลดความชื้นแบบควบแน่น และการลดความชื้นแบบดูดความชื้น ในการลดความชื้นแบบควบแน่นนั้น จะทำให้อากาศเย็นลงกว่าจุดน้ำค้างและความชื้นจะถูกควบแน่นออกจากอากาศ เช่น เครื่องปรับอากาศ ในการลดความชื้นแบบดูดความชื้นนั้นจะใช้สารดูดความชื้นมาช่วยในการลดความชื้นโดยอาศัยหลักของความแตกต่างระหว่างความดันไอของไอน้ำในอากาศกับสารดูดความชื้น ไอน้ำจะถูกสารดูดซับความชื้นดูดซับไว้โดยผ่านพื้นที่ผิวของสารดูดซับที่สัมผัสกับอากาศชั้นนั้น ทางกลุ่มเราได้เลือกศึกษาวิธีการลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับเพราะ การลดความชื้นแบบควบแน่นนั้นเป็นวิธีการที่ต้องใช้พลังงานมากโดยในปัจจุบันการลดความชื้นด้วยการใช้เครื่องปรับอากาศนั้นใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 50 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ภายในอาคารประเภทพาณิชย์และที่อยู่อาศัย ซึ่งการลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับนั้นไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยลงได้

ทางกลุ่มเราได้ศึกษาการลดความชื้นด้วยสารดูดซับ โดยมีการศึกษาสารลดความชื้น 2 ชนิด คือ ผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการดูดซับของสารลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคล
- 1.2.3 เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อมของสารลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคล
- 1.2.4 เพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นชนิดใยชานอ้อย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สารดูดซับความชื้นผงถ่านชาร์โคลจากไม้มังคุด รูปร่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร จำนวน 300 กรัม

1.3.2 ใช้สารดูดซับความชื้นเส้นใยชานอ้อย รูปร่างทรงสี่เหลี่ยมขนาด 1x1 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร จำนวน 300 กรัม

1.3.3 ใช้ช่วงอุณหภูมิทดลองที่ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส

1.3.4 ใช้ช่วงความชื้นจำเพาะที่ 10 ถึง 20 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

1.3.5 ใช้ช่วงอัตราการไหลของอากาศที่ 60 ถึง 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

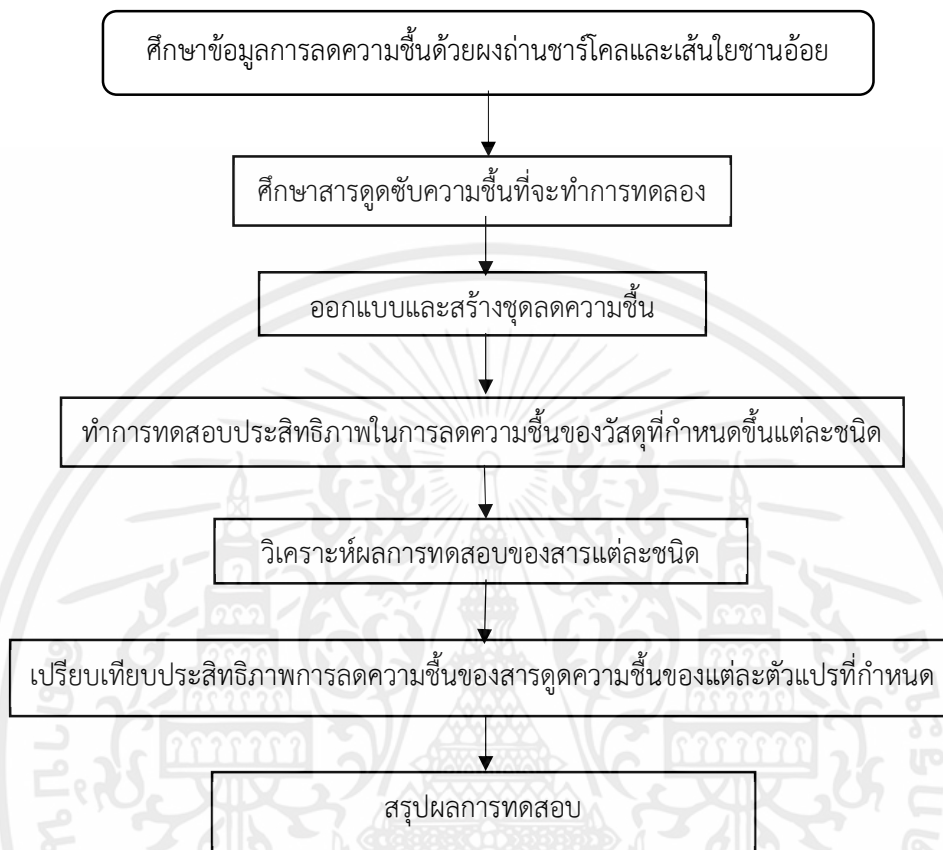
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำข้อมูลและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลทดลองไปใช้ในการออกแบบชุดลดความชื้นด้วยสารดูดซับ

1.5 สถานที่ดำเนินงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร และอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดลดความวิตกกังวลชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
	2564					2565				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง	→									
2.ออกแบบและสร้างชุดทดลอง	→									
3.ทดสอบและรวบรวมข้อมูล	→									
4.วิเคราะห์และสรุปผล	→									
5.ทำเล่มปริญญานิพนธ์	→									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความชื้นในอากาศ (Air humidity) [1]

ความชื้น หมายถึง ปริมาณไอน้ำภายในอากาศ ณ เวลาหนึ่ง กล่าวคือปริมาณไอน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอากาศ ไอน้ำนั้นมาจากแหล่งต่างๆบนพื้นผิวของโลก ได้แก่ แหล่งน้ำบนผิวดิน มหาสมุทรและการคายน้ำของพืชต่างๆ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอลอยสู่อากาศซึ่งจะเรียกว่า การระเหย (Evaporation) ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอได้โดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคือความร้อนแฝง (Latent heat) หากน้ำเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำกลับมา เป็นของเหลว แล้วปล่อยความร้อนออกมาโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงเรียกว่าความร้อนแฝงของ การกลั่นตัว (Latent heat condensation) น้ำแข็งแห้งที่กลายเป็นไอระเหย เรียกว่า การระเหิด (Sublimation)

2.2 ความกดไอน้ำ (Vapor pressure) [2]

โดยทั่วไปปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ภายในบรรยากาศนั้น จะระเหยจากแหล่งน้ำซึ่งมีสถานะเป็น ของเหลว ซึ่งจะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในจุดอากาศอิ่มตัว มวลอากาศแต่ละก้อนก็จะมี แรงดันของก๊าซเป็นอิสระจากแรงดันของมวลอากาศก้อนอื่นๆและมีทิศทางของแรงดันออกรอบ ทิศทาง โดยความดันภายในมวลอากาศนี้เกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลภายในเกิดการพุ่งชนกัน ความกดไอน้ำ (Water vapor or Vapor pressure) คือ ส่วนของความกดจากไอน้ำภายในอากาศหรือความกด ย่อย (Partial pressure) ของไอน้ำในบรรยากาศ ในขณะที่น้ำระเหยเป็นไอออกสู่อากาศ จะเกิดความ กดแบบเดียวกับชนิดก๊าซอื่นๆ กล่าวคือ ความกดไอเป็นส่วนหนึ่งของความกดอากาศนั่นเอง เพียงแต่มี ค่าน้อยกว่าความกดอากาศที่เกิดจากก๊าซต่างชนิด ที่เป็นส่วนผสมในอากาศ ซึ่งความกดไอมี ความสัมพันธ์กับปริมาณมวลโมเลกุลของน้ำต่อปริมาตร 1 หน่วย ถ้าอุณหภูมิต่ำความกดไอน้ำจะ ลดลง แต่ถ้าเป็นเขตอากาศร้อน ความกดอากาศจะเพิ่มขึ้น ทำให้มีความชื้นมากเพราะมีปริมาณไอน้ำ สูงขึ้น

2.3 การวัดความชื้น (Humidity measurement)

2.3.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนส่วนของปริมาณไอน้ำภายในมวลอากาศ ณ เวลาหนึ่ง เปรียบเทียบกับปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรองรับได้ หากระดับไอน้ำ ณ ขณะตรวจวัดมีมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถที่อากาศจะรับได้ ไอน้ำภายในมวลอากาศจะควบแน่น (Condensation) และกลายเป็นหยดน้ำในที่สุด ความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำในขณะที่มี

อุณหภูมิที่สูงจะมีมากกว่าแรงดันไอน้ำและความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำขณะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลโดยตรงต่อแรงดันไอน้ำ ซึ่งระดับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการอิ่มตัวของไอน้ำ (Saturation) และเกิดการควบแน่น เรียกว่า จุดน้ำค้าง (Dew Point)

2.3.2 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity)

ความชื้นสัมบูรณ์ หมายถึง อัตราส่วนของมวลของไอน้ำในอากาศต่อปริมาตรของอากาศ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากันและมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g / m^3)

2.3.3 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)

อัตราส่วนความชื้น หมายถึง ค่ามวลของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้งหรือน้ำหนักของไอน้ำภายในอากาศชื้น ต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยของอากาศแห้ง ซึ่งหน่วยของอัตราส่วนความชื้น คือ กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง การใช้อัตราส่วนหนึ่งกิโลกรัมของอากาศแห้งนั้น เนื่องจากเป็นค่าคงที่ จึงทำให้ง่ายต่อการคำนวณ

2.4 กระบวนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดซับความชื้น [3]

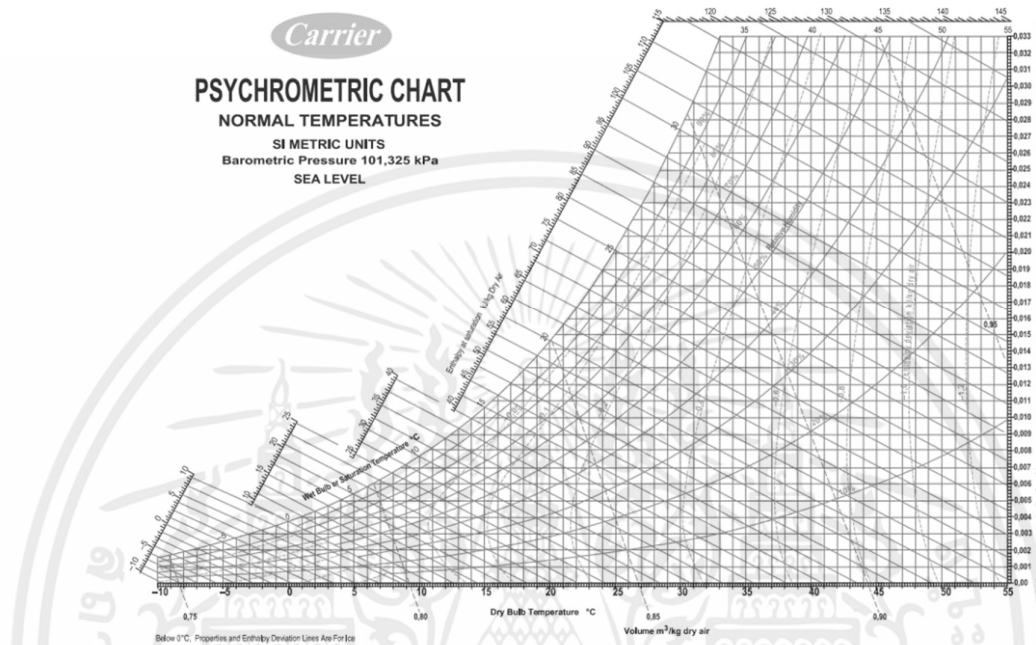
ระบบกระบวนการใช้สารดูดซับความชื้นนั้น ความชื้นสามารถถูกดูดและคายไปพร้อมๆกันได้ ในกรณีของสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถส่งผลให้มีการลดปริมาณน้ำจากอากาศสูงได้ด้วยเช่นกัน การลดลงของปริมาณน้ำในอากาศเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ (Vapor Pressure) ระหว่างอากาศและสารดูดซับความชื้น เมื่อความดันไอน้ำของสารดูดความชื้นน้อยกว่าความดันไอน้ำของมวลอากาศ ความดันไอน้ำในอากาศจะเคลื่อนเข้าไปหาสารดูดความชื้นเรื่อยๆ จนกระทั่งความดันไอน้ำอยู่ในจุดสมดุลหรือจุดอิ่มตัว กล่าวคือความดันไอน้ำในอากาศไม่สามารถถูกดูดโดยสารดูดความชื้นได้อีกต่อไป

2.5 การหาความสามารถในการลดความชื้น

2.5.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)

แผนภูมิไซโครเมตริก คือ กราฟที่แสดงค่าของอุณหภูมิในสภาวะปกติ เพื่อทำการคำนวณค่าของ อุณหภูมิต่างๆ เช่น ระบบการควบคุมอุณหภูมิ หรือการควบคุมความชื้นภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งแผนภูมิไซโครเมตริกได้มีการสร้างขึ้นหลายครั้งด้วยกัน แต่แผนภูมิที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ แผนภูมิของ The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineering หรือ ASHRAE และแผนภูมิของแครร์เรีย (Carrier) ซึ่งในแผนภูมิอาจจะมีรายละเอียดแตกต่างกันไป สำหรับการทดลองครั้งนี้ ทางกลุ่มผู้จัดทำได้เลือกใช้แผนภูมิของแครร์เรีย (Carrier) โดยจะวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Tdb) เพื่อหาอัตราส่วนความชื้น

(Humidity Ratio) ทั้งด้านทางเข้าและทางออกของชุดทดลอง ซึ่งความสามารถในการลดความชื้นนั้น จะหาได้จากการหาผลต่างของความชื้นในด้านทางเข้าและทางออกของชุดการทดลอง



รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) [9]

2.6 วิธีนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่ (Adsorbent regeneration)

2.6.1 ระบบดูดซับแบบแปรอุณหภูมิ (Temperature swing adsorption, TSA)

ในระบบนี้เป็นการนำสารดูดซับที่อิ่มตัวแล้วกลับมาใช้ใหม่ จะทำโดยการให้ความร้อนกับระบบดูดซับ เช่น การใช้ไอน้ำ หรือแก๊สร้อน เพื่อไล่สารดูดซับให้ไหลปนออกมากับตัวกลางให้ความร้อน วิธีการนี้ใช้ได้กับระบบดูดซับที่ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากการให้ความร้อนจะช่วยให้การไล่สารในปริมาณน้อยเกิดได้อย่างรวดเร็ว

2.6.2 ระบบดูดซับแบบสลับความดัน (Pressure swing adsorption, PSA)

ระบบนี้จะใช้วิธีลดความดันของระบบเพื่อไล่สารที่ถูกดูดซับแก๊สออกจากสารดูดซับที่ใช้งานจนอิ่มตัวแล้ว เป็นวิธีที่สามารถใช้ระบบดูดซับที่มีอัตราไหลสูงได้ดี เนื่องจากมีความรวดเร็ว และคล่องตัวของวงจรการทำงาน ซึ่งประกอบด้วยวงจรการดูดซับ และวงจรการไล่สารที่ถูกดูดซับ ซึ่งทำงานสลับกัน

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย

1. อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงขึ้น การระเหยจะเกิดเร็วขึ้น
2. พื้นที่ผิว หากพื้นที่ผิวหน้าสัมผัสมากขึ้น การระเหยจะเกิดได้ดีขึ้น
3. ความชื้นในอากาศ ถ้าในอากาศมีความชื้นสูง การระเหยจะเกิดได้ยาก
4. ชนิดของสาร คือของเหลวที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูงจะมีค่าความร้อนแฝงสูง

กลายเป็นไอได้ยาก ความดันไอจะต่ำ แต่จุดเดือดจะสูง

เมื่อโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ น้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ บนโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยอากาศปะปนกับแก๊สต่างๆ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศนี้ เรียกว่า ความชื้นของอากาศ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับไว้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบรรยากาศ ถ้าอุณหภูมิสูงอากาศจะรับไอน้ำได้มาก ถ้าอุณหภูมิต่ำอากาศจะรับไอน้ำได้น้อย ถ้าอากาศอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรับไอน้ำได้อีก แสดงว่าอากาศขณะนั้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ เรียกสภาวะนี้ว่า อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ หรืออากาศอิ่มตัว

2.8 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของอากาศ

อุปกรณ์ที่ใช้หาค่าความชื้นในอากาศวัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์คือเครื่องมือที่เรียกว่า ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) ซึ่งมีทั้งแบบเส้นผมและแบบกระเปาะเปียก – กระเปาะแห้ง

2.8.1 ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม

ใช้หลักการยืดหดตัวของเส้นผม (เส้นผมที่สะอาดปราศจากไขมัน) ถ้าค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง เส้นผมจะยืดตัวออก เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเส้นผมจะหดตัวสั้นลง

2.8.2 ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง หรือไซโครมิเตอร์ (Psychrometer)

ประกอบด้วยเทอร์มอมิเตอร์ 2 อัน กระเปาะเทอร์มอมิเตอร์อันหนึ่งหุ้มด้วยผ้าชื้น จึงเรียกว่า กระเปาะเปียก ผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกจะสามารถนำมาคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้

ผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์มอมิเตอร์กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก (°C)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	90	79	70	60	51	42	34	26	18	10			
16	90	81	71	63	54	46	38	30	23	15	8		
18	91	82	73	65	57	49	41	34	27	20	14	7	
20	91	83	74	66	59	51	44	37	31	24	18	12	6
22	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22	17	11
24	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26	20	15
26	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29	24	19
28	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32	27	22
30	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	35	30	25
32	93	86	80	74	68	62	57	51	46	41	37	32	28
34	93	87	81	75	69	63	58	53	48	43	39	35	30
36	94	87	81	75	70	64	59	54	50	45	41	37	33

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างตารางแสดงผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์มอมิเตอร์กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก [1]

2.9 ผงถ่านชาร์โคล (Charcoal powder) [7], [8]

ถ่าน คือไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ภายในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศอยู่เบาบางขณะนั้น คือระหว่างที่ไม่ถูกสลายตัวด้วยความร้อน ภายในเนื้อไม้เกิดกระบวนการกำจัดน้ำ น้ำมันดินและสารประกอบอื่นๆออกไปคงเหลือถ่านที่มีคาร์บอนสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ เป็นผลให้ถ่านสามารถให้พลังงานได้สูงกว่าไม้แห้งถึงสองเท่า โดยปริมาณผลผลิตถ่านที่ได้จากการเผาไม้มีเพียงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นของเหลวที่กลั่นตัวได้ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และเป็นก๊าซที่กลั่นตัวไม่ได้

อีกประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

2.2.1 หลักการเผาถ่าน

การเผาถ่าน คือ กระบวนการเปลี่ยนให้ไม้กลายเป็นถ่าน ซึ่งจำแนกขั้นตอนการเผาออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. การไล่ความชื้น (Dehydration) จะใช้อุณหภูมิ 20 ถึง 270 องศาเซลเซียส โดยจะแบ่งออก 2 ช่วง คือ

- ช่วงที่ 1 อุณหภูมิ 20 ถึง 180 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีการให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น ซึ่งก็คือน้ำที่อยู่ภายในเนื้อไม้

- ช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 180 ถึง 270 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) โดยจะสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส การที่จะทำให้ความชื้นใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดภายในเตา ต้องพยายามรักษาอุณหภูมิให้อยู่ที่ 260 องศาเซลเซียส ให้ได้นาน ควันวินช่วงนี้จะมีสีเหลืองจาง

2. การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (Carbonization) อุณหภูมิ 270 ถึง 400 องศาเซลเซียส
3. การทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement หรือ Refining Technique) ถ่านจะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เมื่อเผาเสร็จที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แล้ว แต่ยังมีน้ำมันดิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งอยู่รวมทั้งค่าคาร์บอนเสถียรยังต่ำอยู่ อุณหภูมิพื้นเตาประมาณ 500 องศาเซลเซียส ควันจะมีสีเริ่มใสจะต้องทำการปิดช่องอากาศเข้าความร้อนจะมีการถ่ายเทลงมาที่พื้นอุณหภูมิก็จะใกล้เคียงกันที่ 500

องศาเซลเซียส

4. การทำให้เย็น (Cooling) ก่อนจะนำถ่านไม้มาใช้งานต้องปิดปล่องเตา และปล่อยให้ถ่านเย็นจนอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส หรือตามอุณหภูมิตามสภาวะอากาศของพื้นที่นั้น

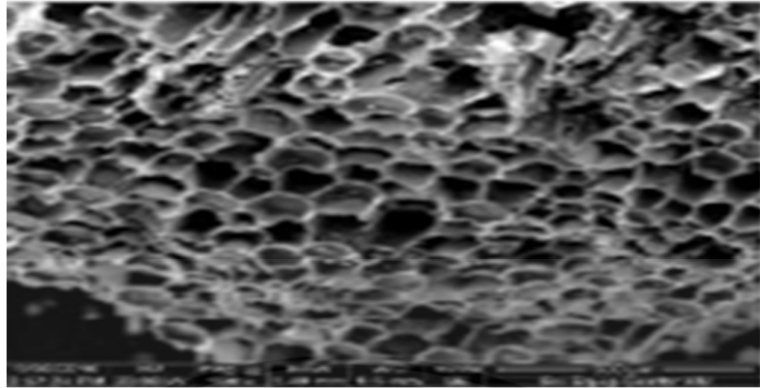
2.2.2 การอัดแท่ง

หลักการผลิตผงถ่านชาร์โคลอัดแท่งมี 2 วิธี

1. การอัดร้อน เป็นการอัดวัสดุโดยที่วัสดุไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านมาก่อนเมื่ออัดเป็นแท่งเสร็จแล้ว ค่อยนำเข้าเตาให้เป็นถ่านอีกครั้งหนึ่ง เมื่อโดนอัดด้วยความร้อนจะมีสารในเนื้อของวัสดุยึดตัวมันเองจึงทำให้สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสานโดยที่เครื่องอัดต้องเป็นเครื่องอัดชนิดอัดร้อนซึ่งราคาค่อนข้างสูง
2. การอัดเย็นเป็นการอัดวัสดุที่เผาถ่านมาแล้ว แล้วนำมาผสมกับแป้งมันหรือวัสดุประสานอื่นๆโดยทั่วไปจะเป็นแป้งมัน โดยถ่านที่นำมาใช้เมื่อผ่านการเผาแล้วต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อน แล้วนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการเพื่อให้สามารถยึดเกาะกันและขึ้นรูปเป็นแท่งได้ง่ายขึ้น

2.10 เส้นใยชานอ้อย (Bagasse fiber) [10]

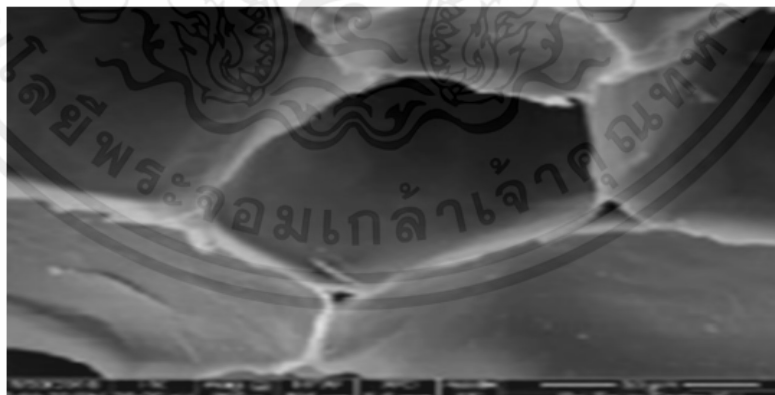
ชานอ้อยเป็นชีวมวลเหลือทิ้งจากกระบวนการหีบน้ำตาลอ้อย หากเราวิเคราะห์ทางเคมีเส้นใยชานอ้อยแห่งนั้นประกอบด้วย อัลฟาเซลลูโลสประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 27 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 21 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆอีก 7 เปอร์เซ็นต์ หากเราต้องการแยกเส้นใยละเอียด เราสามารถทำการแยกโดยใช้สารละลายต่างความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1N ซึ่งเมื่อแยกเส้นใยด้วยสารละลายต่างความเข้มข้นต่างกันแล้ว จะได้ความละเอียดเฉลี่ยที่แตกต่างกันไปตั้งแต่ 35-49 tex และมีค่าการยึดตัวก่อนถึงจุดครากเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.2 ถึง 4.20 เปอร์เซ็นต์ โดยความละเอียดและความยึดตัวจะเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงของเส้นใยจะลดลงตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ เส้นใยจะมีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยที่ 11 ถึง 22 cN/tex



รูปที่ 2.3 ลักษณะรูพรุนของเส้นใยชานอ้อย [11]



รูปที่ 2.4 ลักษณะรูพรุนของเส้นใยชานอ้อย [11]



รูปที่ 2.5 ลักษณะรูพรุนของเส้นใยชานอ้อย [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อชานอ้อย

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อชานอ้อย

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์)
ปริมาณเถ้า	2.76
ปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอลเบนซิน	2.93
ปริมาณเพนโตแซน	29.12
ปริมาณลิกนิน	21.85
ปริมาณโฮโลเซลลูโลส	66.38
ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส	65.42

2.11 วิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของพื้นผิวการตอบสนอง

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) พัฒนาโดย Box และ Wilson ในต้นปี 1950 เป็นวิธีที่รวบรวมเทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา วิธีการพื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิคในการกำหนดและแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลกระทบระหว่างการตอบสนองที่แท้จริงและตัวแปรที่กำหนดที่มีผลต่อการตอบสนองเป็นพื้นผิวตอบสนอง 2 หรือ 3 มิติ วัตถุประสงค์หลักของวิธีการพื้นผิวตอบสนองคือการตรวจสอบผลของตัวแปรอิสระ วิธีประมาณค่าของตัวแปรอิสระ (x_1, x_2, \dots, x_k) ที่ให้ผลดีที่สุด (y) เมื่อทำการตรวจสอบผลการตอบสนอง y ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e$$

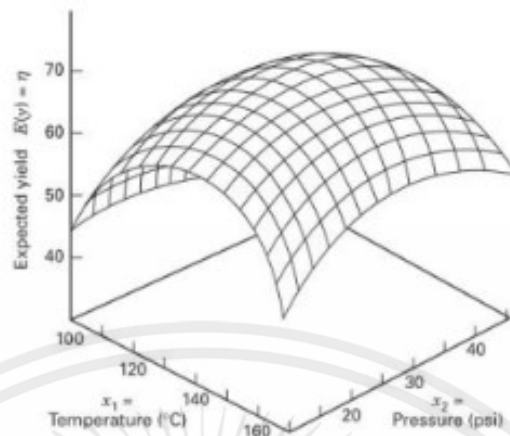
โดยที่ e คือค่าความผิดพลาดของตัวแปรอิสระที่มีผลตอบสนองต่อ y กำหนดให้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวน σ^2 จะได้

$$E(y) = E[f(x_1, x_2, \dots, x_k)] + e = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

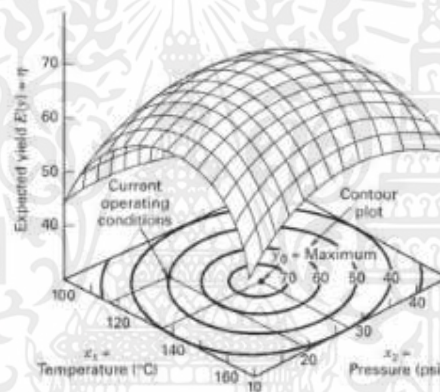
ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการพื้นผิวตอบสนองได้ดังนี้

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

พื้นผิวตอบสนองจะแสดงในรูปแบบกราฟ 3 มิติ ที่แสดงในรูปที่ 2.9 โดยที่ผลการทดลอง η จะเทียบกับตัวแปร X_1 และ X_2 เพื่อช่วยให้เห็นรูปร่างของพื้นผิวตอบสนอง โครงร่างของพื้นผิวตอบสนองในรูปที่ 2.10 เส้นความชันของการตอบสนองคงที่จะอยู่ในแกนของตัวแปร X_1 และ X_2 รูปร่างแต่ละส่วนจะสอดคล้องกับความสูงเฉพาะของพื้นผิวการตอบสนอง



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟพื้นผิวตอบสนอง



รูปที่ 2.7 โครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง

2.11.1 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Designs, CCD)

การออกแบบส่วนประสมกลาง เป็นการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองที่นิยมใช้ที่สุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางใช้สำหรับการศึกษาตัวแปรที่อาจมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง แต่มีจำนวนการทดลองที่ไม่มากนัก โดยจำนวนการทดลองจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่กำหนดสามารถคำนวณการทดลองได้จาก

จำนวนการทดลอง = $2^k + 2k +$ จำนวนการทดลองซ้ำ

โดยที่ k คือ ตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งมี 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ อัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหล

จำนวนการทดลองซ้ำที่ค่ากลางสำหรับวิธีออกแบบสวณประสมกลางควรมีการทดลองซ้ำที่ค่ากลางอย่างน้อย 4 ครั้ง

การออกแบบสวณประสมกลาง สำหรับ 3 ตัวแปร จะได้

$$\alpha = \sqrt[4]{2^k} = \sqrt[4]{2^3} = 1.682$$

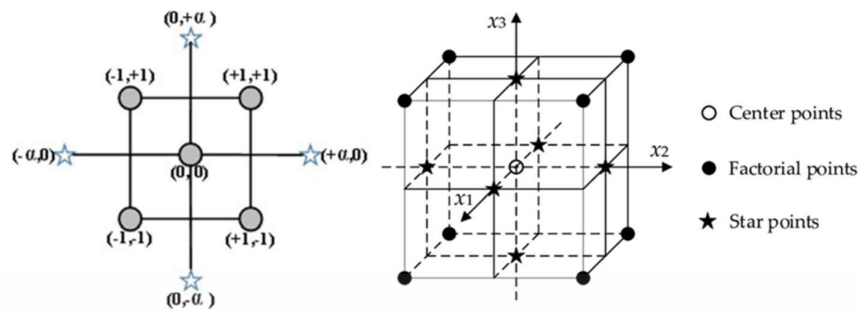
ดังนั้น จำนวนการทดลอง กรณีจำนวนการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง

$$\begin{aligned} \text{จำนวนครั้งในการทดลอง} &= 2k^2 + 2k + \text{จำนวนการทดลองซ้ำ} \\ &= 2^3 + (2 \times 3) + 4 \\ &= 18 \end{aligned}$$

Exp #	x ₁ (-)	x ₂ (-)	x ₃ (-)
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1.682	0	0
10	1.682	0	0
11	0	-1.682	0
12	0	1.682	0
13	0	0	-1.682
14	0	0	1.682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

รูปที่ 2.8 การออกแบบ Inscribed CCD for three factors with four centerpoints [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CCD สำหรับ 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัย [4]

2.12 การหาอัตราการไหลของอากาศ (Air flow rate)

ในการกำหนดปริมาณของอากาศที่ใช้ในการดูดซับความชื้น จะกำหนดเป็นอัตราการไหลของอากาศเป็นอัตราไหลเชิงมวล ซึ่งเป็นมวลของอากาศที่ไหลผ่านช่องทางการไหลในหนึ่งหน่วยเวลา สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$M = \rho \times V \times A$$

โดยที่ M = อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวินาที

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (กำหนดให้เป็นค่าคงที่ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V = ความเร็วในการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

2.13 การหาอัตราการดูดซับความชื้น (Adsorption rate)

ในการหาอัตราการดูดซับความชื้น สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$A = (W_{\text{inlet}} - W_{\text{outlet}}) \times M$$

โดยที่ A = อัตราการดูดซับความชื้น มีหน่วยเป็น กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง

W_{inlet} = อัตราส่วนความชื้นก่อนผ่านสารลดความชื้น มีหน่วยเป็น กรัมอากาศเปียกต่อ กิโลกรัมอากาศแห้ง

W_{outlet} = อัตราส่วนความชื้นก่อนผ่านสารลดความชื้น มีหน่วยเป็น กรัมอากาศเปียกต่อ กิโลกรัมอากาศแห้ง

M = อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2.14 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยรัตน์ คงขุนเทียน [6] พบว่าการผสมเส้นใยชานอ้อยใน ปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นและสภาพการ นำความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เนื่องจากชาน อ้อยมีน้ำหนักเบากว่า หินฝุ่นบดย่อย เมื่อใช้เป็นวัสดุ ผสมเพิ่มในมอร์ต้าจึงทำให้มอร์ต้ามีความหนาแน่น ลดลง ซึ่งเป็นผลดี ในด้านของการเป็นฉนวนความร้อน ที่ดีขึ้นและลดน้ำหนักของโครงสร้างอาคารลงได้ ในทางกลับกัน ค่าความชื้นและการพองตัวเมื่อแช่น้ำมี แนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มี รูพรุน จึงมีความสามารถในการกักเก็บ ความชื้นได้สูง

สารชัย เวชรัตน์พิมล [5] ได้กล่าวเอาไว้ว่า ชานอ้อยคือวัตถุดิบเส้นใย ที่เหลือจากการหีบ น้ำตาลในอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งในการผลิตน้ำตาลนั้น ผลผลิต 1 ตัน จะต้องเหลือเส้นใยชานอ้อย ประมาณ 1.25 ตัน โดยในปัจจุบัน เส้นใยชานอ้อยได้ถูกนำไปใช้ในหลายแขนง ทั้งแบบอุตสาหกรรม สิ่งทอ ไม้อัด อุตสาหกรรมกระดาษรวมถึงนำไปเป็นเชื้อเพลิง แต่อุปสรรคของการนำใยชานอ้อยไปใช้นั้นคือด้านการขนส่ง เนื่องจากใยชานอ้อยที่ผ่านการหีบน้ำตาลแล้วนั้น มีปริมาตรต่อมวลที่มาก จึงต้องใช้พื้นที่มากในการขนส่ง โดยทั่วไปชานอ้อยที่ผ่านการหีบน้ำตาลแล้ว จะมีความชื้นคงเหลืออยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อทำการตากแห้งแล้ว ความชื้นจะคงเหลืออยู่ที่ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความชื้นในส่วนนี้จำเป็นต้องนำออกก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิตกระดาษ โดยเฉลี่ยแล้ว ความยาวของเส้นใยชานอ้อย จะมีความยาวอยู่ที่ 1.7 มิลลิเมตร ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มของเส้นใยสั้น

และได้เขียนบทความการประหยัดพลังงานกับเครื่องลดความชื้นโดยในบทความจะพูดถึงเกี่ยวกับความควบคุมความชื้นเป็นหลัก ความชื้นสัมพัทธ์สามารถอธิบายได้ง่ายๆโดยหมายถึงความหิวของอากาศที่มีต่อปริมาณน้ำหรือความสามารถของอากาศในการดูดซับน้ำนั่นเอง อากาศที่มีอุณหภูมิ กระเพาะแห้งต่างกันสามารถดูดซับความชื้นได้ต่างกัน ก่อนที่อากาศจะอิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงอากาศจะสามารถดูดซับความชื้นได้มากขึ้นถ้าพิจารณาอากาศที่มีอุณหภูมิกระเพาะแห้งที่ 25 องศา เราจะพบว่า มันสามารถดูดซับน้ำได้เท่ากับ 20 กรัมของความชื้นต่ออากาศแห้ง 1 กิโลกรัม เราสามารถพูดได้ว่ามันมีปริมาณน้ำที่ดูดซับไว้แล้วครึ่งหนึ่งของความสามารถ

นายนพพร วิรุฬหะรัตน์ [12] ได้เขียนบทความการประหยัดพลังงานกับเครื่องลดความชื้น โดยในบทความจะพูดถึงเกี่ยวกับความควบคุมความชื้นเป็นหลัก ความชื้นสัมพัทธ์สามารถอธิบายได้ง่ายๆ โดยหมายถึงความหิวของอากาศที่มีต่อปริมาณน้ำหรือความสามารถของอากาศในการดูดซับน้ำนั่นเอง อากาศที่มีอุณหภูมิกระเพาะแห้งต่างกันสามารถดูดซับความชื้นได้ต่างกัน ก่อนที่อากาศจะอิ่มตัวที่ อุณหภูมิสูงอากาศจะสามารถดูดซับความชื้นได้มากขึ้นถ้าพิจารณาอากาศที่มีอุณหภูมิกระเพาะแห้งที่ 25 องศา เราจะพบว่า มันสามารถดูดซับน้ำได้เท่ากับ 20 กรัมของความชื้นต่ออากาศแห้ง 1 กิโลกรัม เราสามารถพูดได้ว่ามันมีปริมาณน้ำที่ดูดซับไว้แล้วครึ่งหนึ่งของความสามารถในการดูดซับทั้งหมดหรือมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์สามารถอธิบายได้ว่าเป็นการแสดง

อัตราส่วนของความชื้นในอากาศในขณะนั้นเทียบกับความชื้นในอากาศ ขณะอิมตัวที่อุณหภูมิกะเปาะแห้งเดียวกัน แสดงว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อากาศจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นส่วนสำคัญในการทดลองเพื่อเก็บผลการทดลอง วัสดุอุปกรณ์ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมด้านราคาและคุณภาพในการใช้งาน ในการทดลองเพื่อมาตัวแปรที่ผลต่อความดันตกคร่อมในระบบและอัตราการดูดซับความชื้นของสารลดความชื้นชนิดผงถ่าน ชาร์โคลและใยชานอ้อย จะต้องทดลองในหลายช่วงอุณหภูมิอากาศ อัตราส่วนความชื้นของอากาศ และอัตราการไหลของอากาศ จึงต้องมีอุปกรณ์ต่างๆเพื่อตอบสนองตัวแปรในการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. โปรแกรม SolidWorks 2019 เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับออกแบบชุดทดลองลดความชื้นแบบเบสบรรจุ
2. โปรแกรม IBM SPSS Statistics 20 เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณทางสถิติ
3. โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับเก็บและบันทึกผลการทดลอง
4. ถ่านจากไม้มั่งคุดปริมาณ 3 กิโลกรัม



รูปที่ 3.1 ถ่าน

5. โยชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว



รูปที่ 3.2 โยชานอ้อยที่อัดขึ้นรูปแล้ว

6. เครื่องชุดทดลองลดความชื้น



รูปที่ 3.3 เครื่องชุดทดลองลดความชื้น

6.1 ครอบอะคริลิกใสสารทดลอง



รูปที่ 3.4 ครอบอะคริลิกใสสารทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 เครื่องเป่าลมแรงดันสูง 220 โวลต์, 550 วัตต์, แรงดัน 1200 ปาสกาล
กำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 0.73 แรงม้า



รูปที่ 3.5 เครื่องเป่าลมแรงดันสูง

6.3 ขดลวดความร้อน แบบรังผึ้ง ขนาด 220 โวลต์, 1 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.6 ขดลวดความร้อน แบบรังผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ชุดควบคุมอุปกรณ์ของชุดทดลอง



รูปที่ 3.7 ชุดควบคุมอุปกรณ์ของชุดทดลอง

7.2 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า ใช้สำหรับควบคุมรอบมอเตอร์ของเครื่องเป่าลมแรงดันสูง



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ชุดควบคุมขดลวดความร้อน ประกอบด้วย หน้าปัดตั้งค่าอุณหภูมิ รุ่น REX-C100FK02-V ขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โซลิดสเตททรีไลย์ รุ่น SSR-40DD และสายเซนเซอร์อุณหภูมิ



รูปที่ 3.9 ชุดควบคุมขดลวดความร้อน

7.4 ปั้มน้ำและตัวควบคุมความชื้น ใช้สำหรับพ่นละอองน้ำ เพื่อควบคุมอัตราส่วนความชื้นภายในระบบลมในระหว่างการทดลอง ประกอบด้วย ปั้มน้ำขนาด 12 โวลต์ 5 แอมป์ แรงดัน 10 บาร์ หัวพ่นละอองน้ำขนาด 0.6 มิลลิเมตร และสายแรงดันสูงขนาด 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.10 ชุดปั้มน้ำและตัวควบคุมความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 ชุดควบคุมความชื้นและเซนเซอร์ความชื้น รุ่น XH-W3005 ขนาด 220 โวลต์ 1500 วัตต์ สำหรับควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ควบคุมความชื้น

8. เครื่องน้ำหนักชั่งตศนิยม 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนักตศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. โหลแก้ว ขนาด 1.5 ลิตร



รูปที่ 3.13 โหลแก้ว

10. ถาดอะลูมิเนียม จำนวน 2 ถาด สำหรับใส่ผงถ่านชาร์โคลและใยชานอ้อย เพื่อนำไปอบไล่ความชื้น



รูปที่ 3.14 ถาดอะลูมิเนียม

11. ตู้อบแบบอากาศหมุนเหวียนยี่ห้อ Binder รุ่น FD115



รูปที่ 3.15 ตู้อบแบบอากาศหมุนเหวียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT363



รูปที่ 3.16 เซนเซอร์วัดความเร็วลม

13. เครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิ



รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องมือวัดความดันตกคร่อม



รูปที่ 3.18 เครื่องมือวัดความดันตกคร่อม
ยี่ห้อ Benetech รุ่น GM510

15. เหล็กกลมตันและเหล็กกลมกลวง ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.19 เหล็กกลมตันและเหล็กกลมกลวง

16. กาวเรซินชนิดเมื่อร้อน หรือ กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde: UF)



รูปที่ 3.20 กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

17. เครื่องตีแป้ง หรือเครื่องกวน ยี่ห้อ Electrolux



รูปที่ 3.21 เครื่องตีแป้ง หรือเครื่องกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบแผ่นกดร้อน



รูปที่ 3.22 เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบแผ่นกดร้อน

19. แม่พิมพ์ขึ้นงาน ขนาดสูง 20.05 มิลลิเมตรกว้าง 30 เซนติเมตรและยาว 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.23 แม่พิมพ์ขึ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปสารตุตซ์

3.2.1 ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปผงถ่านชาร์โคล

1. เตรียมผงถ่านชาร์โคล 3 กิโลกรัม
2. ตำถ่านให้ละเอียดเป็นผง



รูปที่ 3.24 ผงถ่าน

3. นำผงถ่านชาร์โคลมาผสมกับแป้งมันและน้ำเพื่อให้ถ่านจับตัวกัน โดยมีอัตราส่วน ถ่าน 77.26 กรัม ต่อ แป้งมัน 11.4 กรัม น้ำ 1 ช้อนโต๊ะ ต่อการตวง 1 ครั้ง ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน



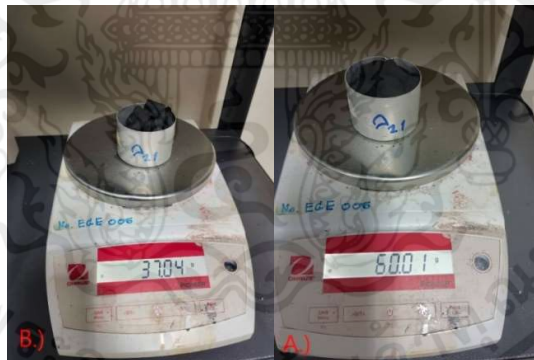
รูปที่ 3.25 คลุกเคล้าผงถ่านชาร์โคลกับแป้งให้เข้ากัน

4. อัดผงถ่านซาร์โคลที่ผสมกับแป้งมันเข้าไปในเหล็กทรงกระบอกขนาด 10 มม. จนแน่นแล้วดันออกมา จะได้ถ่านอัดแท่งที่เป็นทรงกระบอก ทำจนได้ปริมาณ 3 กิโลกรัม



รูปที่ 3.26 การอัดผงถ่านซาร์โคลเข้าแท่งเหล็กทรงกระบอก

5. นำผงถ่านซาร์โคลอัดแท่งที่ได้ไปทดสอบการอบไล่ความชื้นเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้สารหมดความชื้น โดยเริ่มจาก อุณหภูมิที่ 150, 160, 180, 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยสังเกตจากน้ำหนักของสารก่อนอบและหลังอบ ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่ องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่น้ำหนักของสารหายมากที่สุดและเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 3.27 น้ำหนักสารก่อนอบและหลังอบไล่ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำผงถ่านชาร์โคลอัดแท่งแล้วมาตัดให้ได้ขนาดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.28 ผงถ่านชาร์โคลอัดแท่งที่ใช้เป็นสารลดความชื้น

3.2.2 ขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปใยชานอ้อย

1. นำชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการรีดน้ำอ้อยไปตากแห้ง หลังจากแห้งนำเส้นใยอ้อยที่ได้มา ร่อนเพื่อแยกผงที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตรออก นำเส้นใยอ้อยที่คัดผงออกแล้ว ไปอบที่ตู้อบ ความร้อนดังรูปที่ 3.14 ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจาก เส้นใยอ้อย
2. เตรียมส่วนผสมอัตราส่วนเส้นใยอ้อย เมื่อนำอัตราส่วนผสมที่ได้มาซึ่งบนเครื่องตาม ปริมาณที่กำหนดไว้ นำมาผสมกับส่วนกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ดังรูปที่ 3.19 อัตราส่วน 1:3 ในเครื่อง ผสมดังรูปที่ 3.20
3. ใส่ส่วนผสมที่ผสมแล้วลงในแม่พิมพ์ขนาดดังรูปที่ 3.22 แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิ คแบบแผ่นกดร้อน ใช้ระยะเวลาการอัดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดความหนา หลังจากอัดขึ้นงานแล้ว จะนำชิ้นงานออกจากเครื่องอัดไฮดรอลิคแบบแผ่นกดร้อน



รูปที่ 3.29 ตัวอย่างชิ้นงานเส้นใยชานอ้อย 100 เปอร์เซ็นต์

ความสูง 20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรและ 100 มิลลิเมตร

3.3 การออกแบบตารางทดลอง

ในการออกแบบตารางทดลองแบบส่วนประสมกลาง จากหัวข้อที่ 2.11.4

ตารางที่ 3.1 การทดลองที่ต้องการศึกษา (ตัวแปรต้น) : X_1 , X_2 , X_3

X_1	อุณหภูมิ	T	$^{\circ}\text{C}$
X_2	ค่าความชื้น	W	$\text{g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$
X_3	ความเร็วลม	M	Kg/h

ตารางที่ 3.2 ผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา (ตัวแปรตาม) : y_1 , y_2

Y_1	อัตราความชื้น	A	kg_w/h
Y_2	ความดันตกคร่อม	ΔP	Pa

ตารางที่ 3.3 ค่าที่ใช้ในการทดลอง

	Ranger and levels				
	-1.682	Low(-1)	0	High(+1)	+1.682
อุณหภูมิ	25	28	33	37	40
ค่าความชื้น	10	12	15	18	20
ความเร็วลม	60	72	90	108	120

จากตารางนี้จะได้ค่าต่าง ๆ นำไปใช้ในรูปที่ 3.30 โดย ค่าของ 0 ในตารางหาได้จาก การนำค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดมาทำการอินเตอร์พูเรต หาค่ากลางจะได้ ค่า 32.5 ให้ทำการปัดจุดทศนิยมขึ้นจะได้ 33 มาตั้งตาราง และค่าของ Low (-1) กับ High (+1) หาได้จาก นำค่า 0 อินเตอร์พูเรตกับ Low (-1) หรือ High (+1) จะได้ค่าตามตารางที่ 3.3 จากนั้นนำค่าที่ได้แทนลงในรูปที่ 3.30 จะได้ ตารางการทดลองดังรูปที่ 3.30

Run no.	Parametric studies			Vertical flow bed	
	T °C	W g _w /kg _{da}	M kg/h	ΔP Pa	R_{adsorp} kg _w /h
1	28	12	72		
2	37	12	72		
3	28	18	72		
4	37	18	72		
5	28	12	108		
6	37	12	108		
7	28	18	108		
8	37	18	108		
9	25	15	90		
10	40	15	90		
11	33	10	90		
12	33	20	90		
13	33	15	60		
14	33	15	120		
15	33	15	90		
16	33	15	90		
17	33	15	90		
18	33	15	90		

รูปที่ 3.30 การบันทึกผลการทดลอง

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1. ออกแบบชุดทดลอง
2. สร้างชุดทดลอง
3. ออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของพื้นผิวการตอบสนอง (RSM) ในการออกแบบตารางการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการทดลองผ่ง่านชาร์โคลและใยชานอ้อย

1. นำผ่ง่านชาร์โคลและใยชานอ้อยไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จแล้วเทสารลงไปในโหลแก้วที่เตรียมไว้ ทิ้งให้สารเย็นตัวจนอยู่ในอุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.31 ผงถ่านชาร์โคลในโหลแก้ว



รูปที่ 3.32 โยซานอ้อยในโหลแก้ว

2. ทำการเดินเครื่องชุดทดลองและเซตค่าต่าง ๆ ที่ตู้ควบคุมชุดทดลอง เปิดคัทเอาต์ขดลวดความร้อน แล้วเซตค่าอุณหภูมิให้ได้ตามตารางการทดลอง หากความชื้นไม่พอให้ปรับตั้งค่าตู้ควบคุมความชื้นให้พ้นละอองน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น รอประมาณ 30 นาที เพื่อให้ค่าทุกอย่างนิ่ง



รูปที่ 3.33 ตู้ควบคุมชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดความเร็วด้วยเครื่องวัดความเร็วลม มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที โดยทำการวัด 3 จุดของทางออกท่อแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ให้ได้ความเร็วลมที่ต้องการ



รูปที่ 3.34 การวัดความเร็วลม 3 จุดเพื่อให้ได้ค่าความเร็วลม 3 ค่าเพื่อนำมาเฉลี่ย

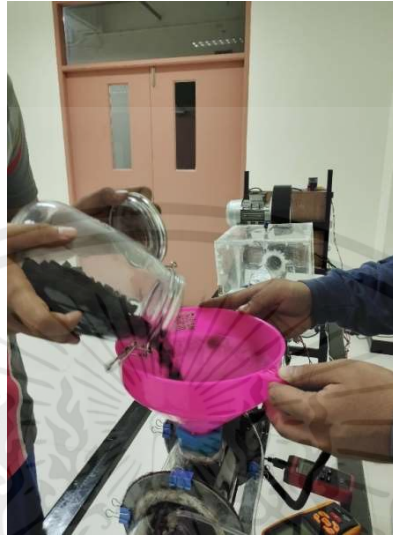
4. หากค่าความชื้นและอุณหภูมิยังไม่นิ่งให้ทำการปรับอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศ แล้วรอค่าให้ค่าความชื้นและอุณหภูมินิ่ง โดยใช้โหมด Cool และโหมด Dry



รูปที่ 3.35 ปรับอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อเซตเครื่องร่อนค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้วให้ทำการปิดเครื่องเป่าลมแรงดันสูง แล้วรีบใส่สารดูดซับความชื้นลงในท่อทดลองให้เร็วและแน่นที่สุด



รูปที่ 3.36 เทสารดูดซับลงในท่อทดลอง



รูปที่ 3.37 สารดูดซับเต็มท่อทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อใส่สารดูดซับลงในท่อทดลองแล้ว ให้ทำการเปิดเครื่องเป่าลมแรงดันสูง วัดความเร็วลมอีกครั้งและปรับความเร็วลมให้ได้ค่าตามตารางการทดลอง ทำการวัดความเร็วลม 3 จุด ที่ปลายท่อทางออกและทำการหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.38 วัดความเร็วลมที่ปากทางออก

7. เริ่มจับเวลาการทดลองตั้งแต่เทสารดูดซับลงในท่อทดลอง และทำการเก็บผลจตุค่าอุณหภูมิต่างเข้า - ทางออก , ค่าอัตราส่วนความชื้นความชื้น ทางเข้า - ทางออกและความดันตกค่อมจากการทดลองทุก ๆ 2 นาที จนครบ 30 นาที และคอยเช็คความเร็วลมเป็นระยะ ๆ



รูปที่ 3.39 จดบันทึกค่าการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อทำการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการปิดเครื่องชุดทดลองและนำสารดูดซับที่ทดลองแล้วเทใส่ถุงซิปล็อคและนำกลับไปบอบลมร้อนใหม่เพื่อเตรียมทดลองครั้งต่อไป



รูปที่ 3.40 เทสารดูดซับลงในถุงซิปล็อคเพื่อเตรียมนำไปทำการอบไล่ความชื้นเพื่อทดลองซ้ำ

9. นำผงถ่านชาร์โคลที่ใช้ในการทดลองแล้ว ใส่ถาดอลูมิเนียม เพื่อนำไปอบไล่ความชื้นที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.41 ผงถ่านชาร์โคลในถาดอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 อบผงถ่านชาร์โคล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองสารดูดซับความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคลและใยชานอ้อย ขนาด 300 กรัม โดยกำหนดสภาวะการทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 10 ถึง 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 60 ถึง 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองจะได้ค่าความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้น เพื่อนำข้อมูลและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการทดลองไปใช้ในการออกแบบชุดลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบดบรรจุในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

4.1 ผลการทดลองแสดงค่าความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงค่าความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

No.	Air temperature (°c)	Humidity ratio ($g_w/k_{g_{da}}$)	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g_w/h)
1	28	12	72	0.62	30.5
2	37	12	72	0.81	49.1
3	28	18	72	0.43	46.7
4	37	18	72	0.66	47.5
5	28	12	108	1.52	58.0
6	37	12	108	1.60	33.7
7	28	18	108	1.60	73.6
8	37	18	108	1.56	62.2
9	25	15	90	0.96	71.0
10	40	15	90	0.99	48.4
11	33	10	90	0.71	45.5
12	33	20	90	0.94	69.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงค่าความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล (ต่อ)

No.	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
12	33	20	90	0.94	69.1
13	33	15	60	0.44	14.4
14	33	15	120	2.32	82.7
15	33	15	90	0.98	35.7
16	33	15	90	0.97	45.5
17	33	15	90	0.93	36.4
18	33	15	90	0.95	42.4

4.1.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

จากตารางที่ 4.1 สารลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคล มีอัตราการดูดซับความชื้นสูงสุดที่ 82.7 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ในช่วงสภาวะอุณหภูมิอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศที่ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการดูดซับต่ำสุดที่ 14.4 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ในช่วงสภาวะ อุณหภูมิอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศที่ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสังเกตได้ว่าอัตราการไหลผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นอย่างชัดเจน

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคลเป็นอย่างมาก ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำจะมีอัตราการดูดซับที่มากกว่าช่วงอุณหภูมิสูง สังเกตได้จากการทดลองทดลองครั้งที่ 9 กับครั้งที่ 10 ที่ทดลองในช่วงอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลเท่ากัน แต่ทดลองอุณหภูมิของอากาศในช่วงต่ำสุดและสูงสุด ในการทดลองครั้งที่ 9 จะทดสอบอุณหภูมิของอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส จะได้ผลของอัตราการดูดซับอยู่ที่ 71 กรัมเปียกต่อชั่วโมง แต่ในการทดสอบครั้งที่ 10 ทดสอบอุณหภูมิของอากาศที่ 40 องศาเซลเซียส อัตราการดูดซับจะลดลงมาอยู่ที่ 48.4 กรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้นก็มีผลต่ออัตราการดูดซับแต่น้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศสังเกตได้จากการทดลองครั้งที่ 11 และ 12 ที่ทดลองในช่วงอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศที่เท่ากัน ในการทดลองครั้งที่ 11 จะทดลองอัตราส่วนความชื้นที่ 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะได้ผลของอัตราการดูดซับอยู่ที่ 45.5 กรัมต่อชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 12 ทดลองอัตราส่วนความชื้นที่ 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะได้ผลของอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 69.1 กรัมต่อชั่วโมง จากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัม

อากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าสำหรับชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดถ่านมีอัตราการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 40 กรัมต่อชั่วโมง

จากตารางที่ 4.1 สารลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคล มีอัตราการดูดซับความชื้นสูงสุดที่ 82.7 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ในช่วงสภาวะอุณหภูมิอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศที่ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการดูดซับต่ำสุดที่ 14.4 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ในช่วงสภาวะ อุณหภูมิอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศที่ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสังเกตได้ว่าอัตราการไหลผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.1.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดลองของผงถ่านชาร์โคลในช่วงอัตราการไหลที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
25	15	90	0.96	71.0
40	10	90	0.99	48.8
33	20	90	0.71	45.5
33	15	90	0.94	69.1
33	15	90	0.98	35.7
33	15	90	0.97	45.5
33	15	90	0.93	36.4
33	15	90	0.95	42.4

จากตารางที่ 4.1.1 เป็นการเปรียบเทียบผลของความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นในช่วงอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าช่วงอุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส ถ่านมีอัตราการดูดซับความชื้น 71 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ช่วงอุณหภูมิของอากาศ 40 องศาเซลเซียส ถ่านมีอัตราการดูดซับความชื้น 48.8 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง และในช่วงอัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 48.8 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ช่วงอัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 45.5 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง แสดงว่าผงถ่านชาร์โคลสามารถดูดซับความชื้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำและอัตราส่วนความชื้นต่ำ สรุปได้ว่าอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นมีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล โดยถ่านมีอัตราการดูดซับความชื้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นที่ต่ำ

ตารางที่ 4.1.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดลองของผงถ่านชาร์โคลในช่วงอัตราความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
25	15	90	0.96	71.0
40	15	90	0.99	48.8
33	15	60	0.44	14.4
33	15	120	2.32	82.7
33	15	90	0.98	35.7
33	15	90	0.97	45.5
33	15	90	0.93	36.4
33	15	90	0.95	42.4

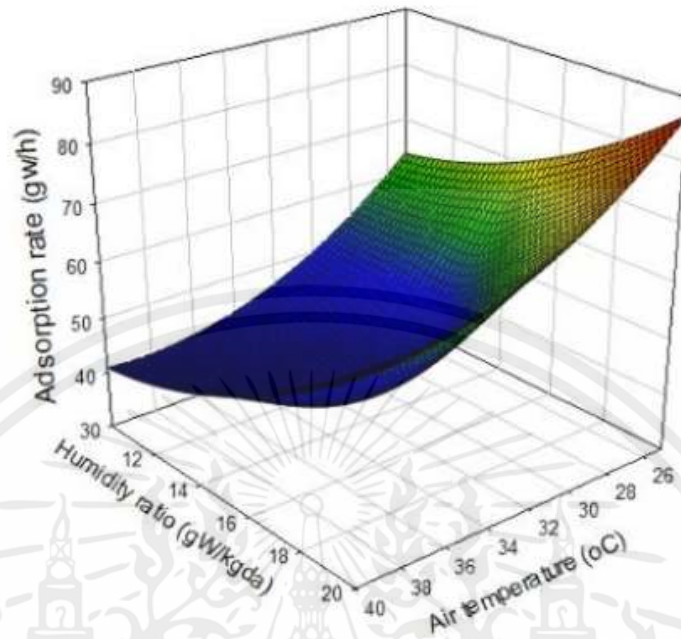
จากตารางที่ 4.1.2 เป็นการเปรียบเทียบผลของความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นในช่วงอัตราความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง พบว่าช่วงอุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 71 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ช่วงอุณหภูมิของอากาศ 40 องศาเซลเซียส ถ่านมีอัตราการดูดซับความชื้น 48.8 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง และในช่วงอัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 14.4 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ช่วงอัตราการไหล 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 82.7 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง สรุปได้ว่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศมีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของถ่าน โดยผงถ่านชาร์โคลมีอัตราดูดซับความชื้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำและอัตราการไหลของอากาศที่สูง

ตารางที่ 4.1.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดลองของผงถ่านชาร์โคลในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส

Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
33	10	90	0.71	45.5
33	20	90	0.94	69.1
33	15	60	0.44	14.4
33	15	120	2.32	82.7
33	15	90	0.98	35.7
33	15	90	0.97	45.5
33	15	90	0.93	36.4
33	15	90	0.95	42.4

จากตารางที่ 4.1.3 เป็นการเปรียบเทียบผลของความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส พบว่าช่วงอัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 45.5 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ช่วงอัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 69.1 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง และในช่วงอัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ่านมีอัตราการดูดซับความชื้น 14.4 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ช่วงอัตราการไหล 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผงถ่านชาร์โคลมีอัตราการดูดซับความชื้น 82.7 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง สรุปได้ว่าอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลของอากาศมีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของถ่าน โดยผงถ่านชาร์โคลมีอัตราดูดซับความชื้นได้ดีในช่วงอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลของอากาศที่สูง

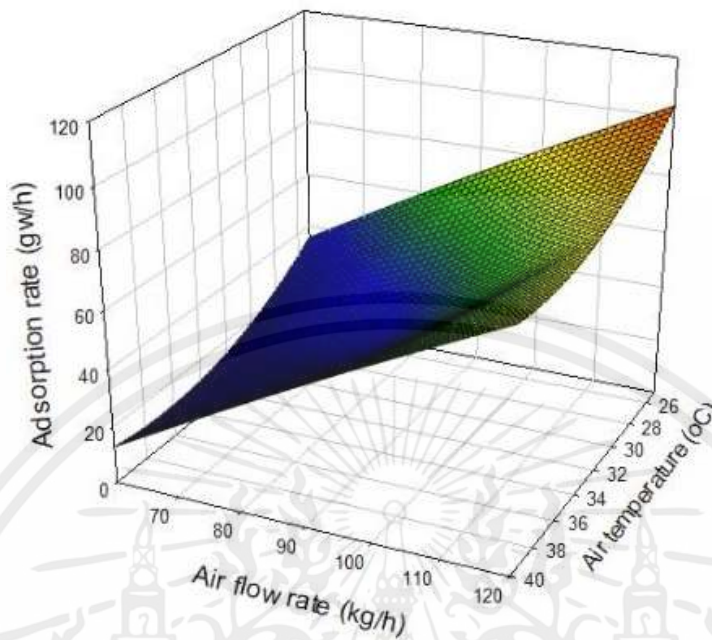
Hold value for air flow rate at 90 kg/h



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นเทียบกับอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น ของช่วงการทดลองที่มีอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.1 กราฟพื้นผิวตอบสนองที่มีการกำหนดค่าของอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากตารางที่ 4.1.1 เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของอากาศที่มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้น พบว่าอุณหภูมิของอากาศมีผลมากกว่าอัตราส่วนความชื้น ซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟ จากกราฟในช่วงอุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับความชื้นประมาณ 80 ถึง 90 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับความชื้นประมาณ 40 ถึง 50 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง และในช่วงอัตราส่วนความชื้นมีความชันของกราฟไม่ต่างกันมาก สรุปได้ว่าอุณหภูมิมิผลอย่างมากต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

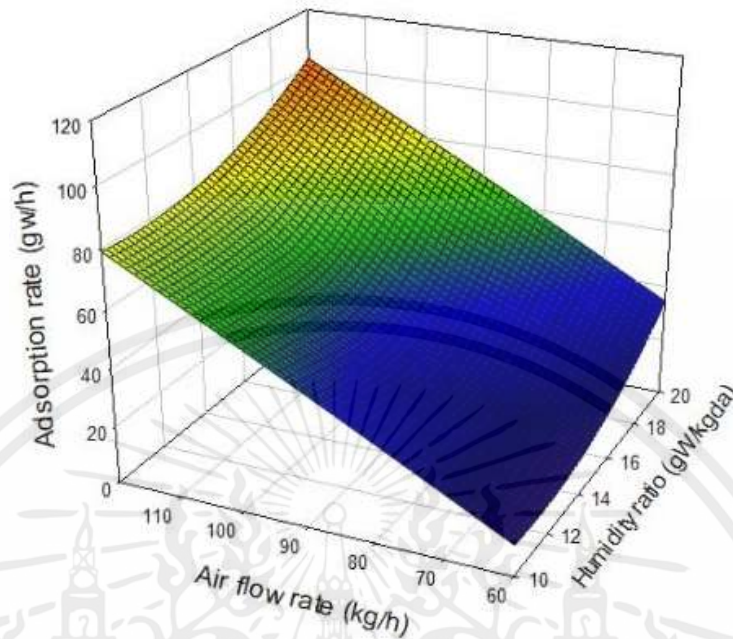
Hold value for Humidity ratio at 15 gW/kgda



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นเทียบกับอุณหภูมิและอัตราการไหลของช่วงการทดลองที่มีอัตราส่วนความชื้นอยู่ที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

จากรูปที่ 4.2 กราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราส่วนความชื้นอยู่ที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จากตารางที่ 4.1.2 เพื่อวิเคราะห์อัตราการไหลของและอุณหภูมิของที่มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้น พบว่าอุณหภูมิของอากาศมีผลมากกว่าอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟ จากกราฟในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 26 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับความชื้นประมาณ 100 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการดูดซับความชื้นประมาณ 15 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง และในช่วงอัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอัตราการดูดซับประมาณ 60 ถึง 80 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอัตราการไหลของอากาศประมาณ 20 ถึง 40 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง สรุปได้ว่าอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

Hold value for Air temperature at 33 oC



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นเทียบกับอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลของอากาศของช่วงการทดลองที่มีอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 กราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.1.3 เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้น พบว่าอัตราการไหลของอากาศมีผลมากกว่าอัตราส่วนความชื้น ซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟ จากกราฟในช่วงอัตราการไหลของอากาศ 110 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอัตราการดูดซับความชื้นประมาณ 80 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอัตราการดูดซับความชื้นประมาณ 10-20 กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง โดยในช่วงอัตราการไหลที่ต่ำจะมีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำ และในช่วงที่มีอัตราการไหลที่สูง จะมีอัตราการดูดซับความชื้นที่สูงตามไปด้วย และในช่วงอัตราส่วนความชื้นจากความชันของกราฟส่งผลค่อนข้างน้อย สรุปได้ว่าอัตราการไหลของอากาศส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

ตารางที่ 4.1.4 แสดงค่าความเที่ยงตรงของสมการอัตราการดูดซับความชื้นที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

Summary	
R	0.850
R ²	0.723
R ² adjusted	0.637
Standard Error	10.39
# Points	18
PRESS	2848.23
R ² for Prediction	0.437
Durbin-Watson d	1.907
First Order Autocorrelation	0.032
Collinearity	0.009
Coefficient of Variation	20.956
Precision Index	22.413

จากตารางที่ 4.1.4 จะมีค่าต่างๆที่มีผลต่อการทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มา R² (R-Square) เป็นหนึ่งในค่าทางสถิติที่ใช้เป็นเกณฑ์การยอมรับผลการทดสอบ โดยเมื่อ R² ยังมีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าไร จะแสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หว่าเส้นตรงมากขึ้นเท่านั้น

ค่า R² adjusted จะเป็นการนำค่า R-squared มาปรับเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนตัวแปรทำนายที่อยู่ใน ตัวแบบ ค่า R² adjusted จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมก็ต่อเมื่อพจน์ที่เพิ่มเข้ามาใหม่นั้นทำให้ตัวแบบอธิบายความได้ดีขึ้น จากค่าความคลาดเคลื่อน และค่า R² adjusted จะมีค่าลดลงถ้าพจน์ที่เพิ่มเข้ามาในตัวแบบนั้นทำให้ตัวแบบอธิบาย ความได้น้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อน ค่า R² adjusted ยังสามารถมีค่าเป็นลบได้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะไม่เป็นเช่นนั้น แต่อย่างหนึ่งคือ จะมีค่าน้อยกว่า ค่า R-squared เสมอ

ค่า R² for Prediction เป็นค่าบ่งชี้ความคลาดเคลื่อนของชุดตัวแปรที่ไม่ได้การทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน (Coefficient of Variation) เป็นมาตรการทางสถิติที่เป็นมาตรฐานดังนั้นจึงไม่มีมิติข้อมูล เป็นตัวชี้วัดการแพร่กระจายและใช้แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบชุดข้อมูลที่มีมาตรการแตกต่างกันและวิธีการที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการวัดความเสี่ยง และเป็นตัววัดความเสี่ยงในการวัดความแปรปรวนของราคาหุ้นและหลักทรัพย์อื่น ๆ ช่วยให้นักวิเคราะห์สามารถประเมินและเปรียบเทียบความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้วัดและบริหารความเสี่ยงด้านการลงทุนได้ กล่าวคือ เมื่อ

CV มีขนาดหรือไม่มีหน่วยเนื่องจากเป็นเปอร์เซ็นต์ และเป็นอิสระจากหน่วยวัดที่ใช้ในการคำนวณ เป็นอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเป็นบวกเสมอ ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน โดยทั่วไปไม่ควร ให้ค่านี้เกินร้อยละ 10 CV เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean) ค่า CV น้อย มีความน่าเชื่อถือมากกว่าค่า CV มาก

ตารางที่ 4.1.5 ค่า P-Value ของสมการอัตราการดูดซับความชื้นที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

		P- value
b0	-166.98	0.02190
b1	3.959	0.01196
b2	0.126	0.04813
b3	-0.101	0.03036
b4	0.08385	0.01865

จากตารางที่ 4.1.5

b0 คือ สัมประสิทธิ์ค่าของค่าคงที่

b1 คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของอากาศ

b2 คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของอากาศยกกำลังสอง

b3 คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของอากาศ

b4 คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนความชื้นกำลังสอง

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์แบบพหุคูณของผงถ่านชาร์โคล จะเห็นได้ว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัว มีนัยสำคัญต่ออัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล โดยอุณหภูมิและอัตราการไหลมีผลอย่างมากต่ออัตราการดูดซับความชื้น ส่วนอัตราส่วนความชื้นมีผลค่อนข้างน้อย ซึ่งสังเกตได้จากค่า P-Value จากตารางที่ 4.1.5

ค่า P-value เป็นตัวที่บ่งชี้ความสำคัญของตัวแปรที่มีผลต่อสมการ โดยหากมีค่าต่ำกว่า 0.05 หมายถึงตัวแปรนั้นมีนัยสำคัญของสมการ และมากกว่า 0.05 ตัวแปรนั้นไม่มีนัยสำคัญหรือมีนัยสำคัญที่น้อยมากต่อสมการ

จากการผลการทดลองการลดความชื้นชนิดผงถ่านชาร์โคลดังตารางที่ 4.1 จะสามารถแสดงสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นต่ออัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิของอากาศ และอัตราส่วนความชื้น ได้จากสมการ

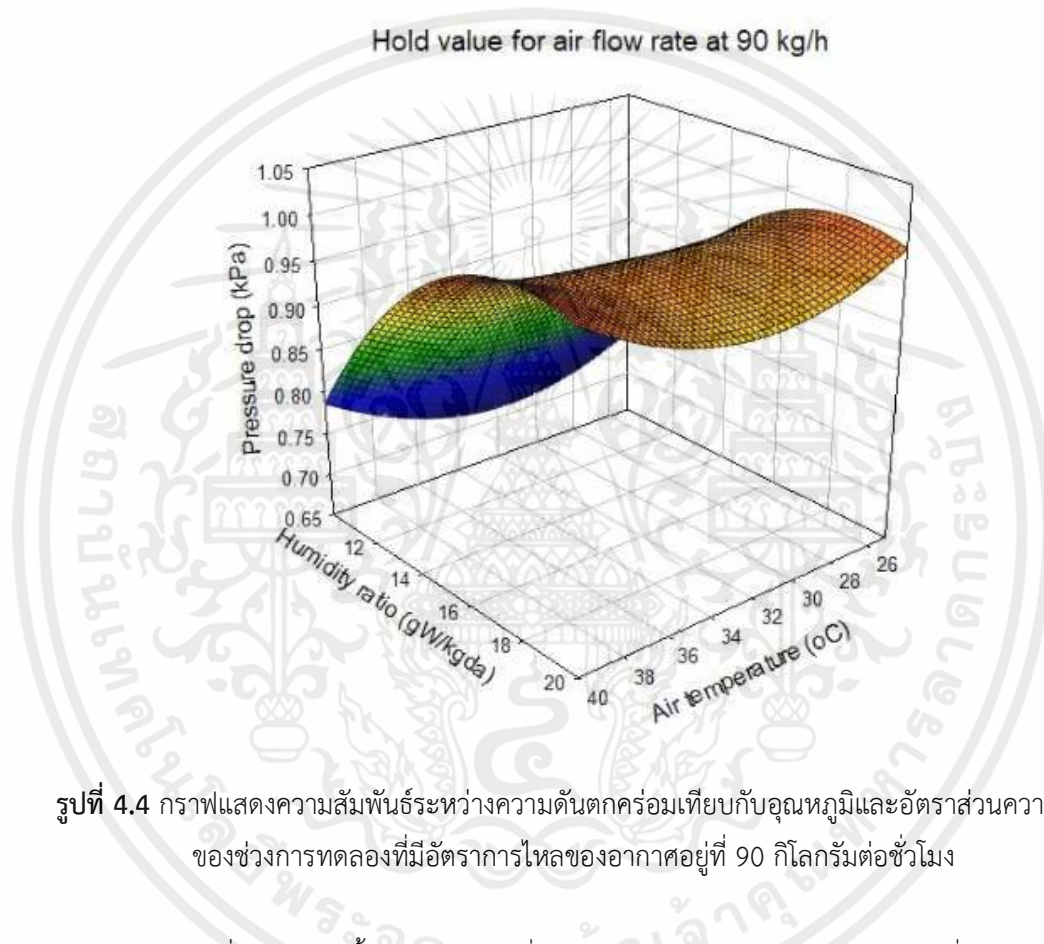
$$\text{อัตราการดูดซับความชื้น} = -166.98 + 3.959M + 0.126T^2 - 0.101TM + 0.08385W^2$$

โดยที่ M = อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อชั่วโมง

T = อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

W = อัตราส่วนความชื้น มีหน่วยเป็น กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

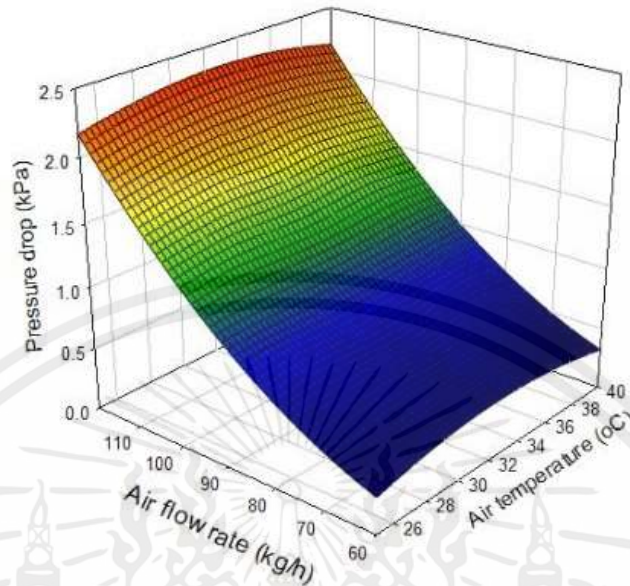
อัตราการดูดซับความชื้น มีหน่วยเป็น กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของช่วงการทดลองที่มีอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.4 กราฟพื้นผิวตอบสนองที่มีการกำหนดอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.1 เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของอากาศที่มีผลต่อความดันตกคร่อม พบว่าอัตราส่วนความชื้นส่งผลต่อความดันตกคร่อมมากกว่าอุณหภูมิของอากาศสังเกตได้จากความชันของกราฟ จากกราฟความชันของกราฟในช่วงอัตราส่วนความชื้นมีความชันมากกว่าช่วงอุณหภูมิ แต่จากสเกลของค่าความดันตกคร่อมห่างกันน้อย สรุปได้ว่าอุณหภูมิของอากาศและอัตราส่วนความชื้นส่งผลต่อความดันตกคร่อมน้อยมาก

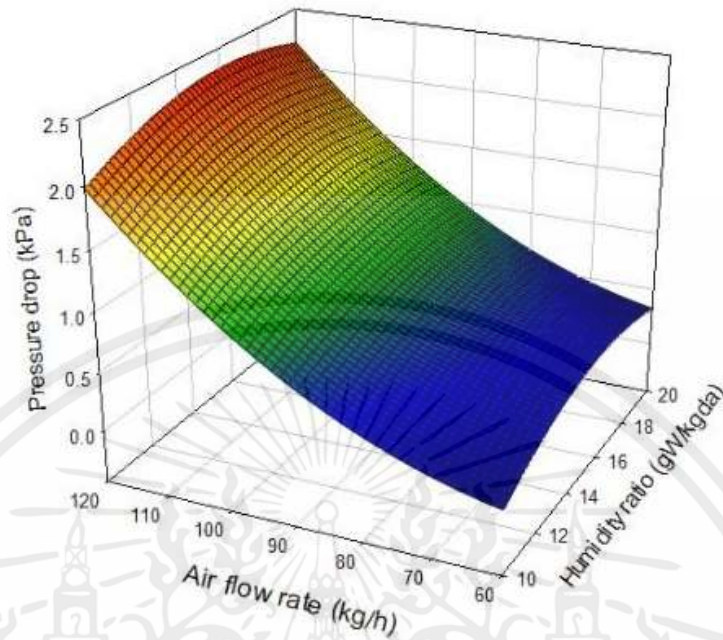
Hold value for Humidity ratio at 15 gW/kgda



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิและอัตราการไหลของช่วงการทดลองที่มีอัตราส่วนความชื้นอยู่ที่ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

จากรูปที่ 4.5 กราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จากตารางที่ 4.1.2 เพื่อวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่มีผลต่อความดันตกคร่อม สังเกตได้จากความชันของกราฟ จากกราฟในช่วงอัตราการไหลของอากาศ 70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความดันตกคร่อมประมาณ 0.5 กิโลปาสคาล อัตราการไหลของอากาศ 110 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความดันตกคร่อมประมาณ 2 กิโลปาสคาล และในส่วนอุณหภูมิของอากาศมีความดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าอัตราการไหลของอากาศส่งผลต่อความดันตกคร่อม

Hold value for Air temperature at 33 oC



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอัตราการความชื้นและอัตราการไหล ของช่วงการทดลองที่มีอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.6 กราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.1.3 เพื่อวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศและอัตราส่วนความชื้นที่มีผลต่อความดันตกคร่อม พบว่าอัตราการไหลของอากาศส่งผลต่อความดันตกคร่อมมากกว่าอัตราส่วนความชื้น ซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟ จากกราฟในช่วงอัตราการไหลของอากาศ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความดันตกคร่อมประมาณ 0.5 กิโลปาสกาล อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความดันตกคร่อมประมาณ 2 ถึง 2.5 กิโลปาสกาล และในส่วนอัตราส่วนความชื้นมีความดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าอัตราการไหลของอากาศส่งผลต่อความดันตกคร่อม

ตารางที่ 4.1.6 ค่าความเที่ยงตรงของสมการความดันตกคร่อมที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

Summary	
R	0.980
R ²	0.960
R ² adjusted	0.954
Standard Error	0.104
# Points	18
PRESS	0.28
R ² for Prediction	0.930
Durbin-Watson d	2.752
First Order Autocorrelation	-0.381
Collinearity	0.010
Coefficient of Variation	9.876
Precision Index	40.935

ตารางที่ 4.1.7 ค่า P-Value ของสมการความดันตกคร่อมที่ได้จากการทดลองการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล

		P- value
b0	2.506	0.00300
b1	-0.06326	0.00127
b2	0.000508	3.83017E-05

จากตารางที่ 4.1.5

b0 คือ สัมประสิทธิ์ค่าของค่าคงที่

b1 คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของอากาศ

b2 คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลของอากาศกำลังสอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองการลดความชื้นชนิดถ่านจะสามารถแสดงสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมต่ออัตราการไหลของอากาศ

$$\text{ความดันตกคร่อม} = 2.506 + (-0.06326)M + 0.000508M^2$$

โดยที่ M = อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อชั่วโมง
สมการที่ได้จากการวิเคราะห์แบบพื้นผิวตอบสนองของถ่าน จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อความดันตกคร่อมคืออัตราการไหลของอากาศ ส่วนอุณหภูมิและความชื้นไม่มีผลต่อความดันตกคร่อม

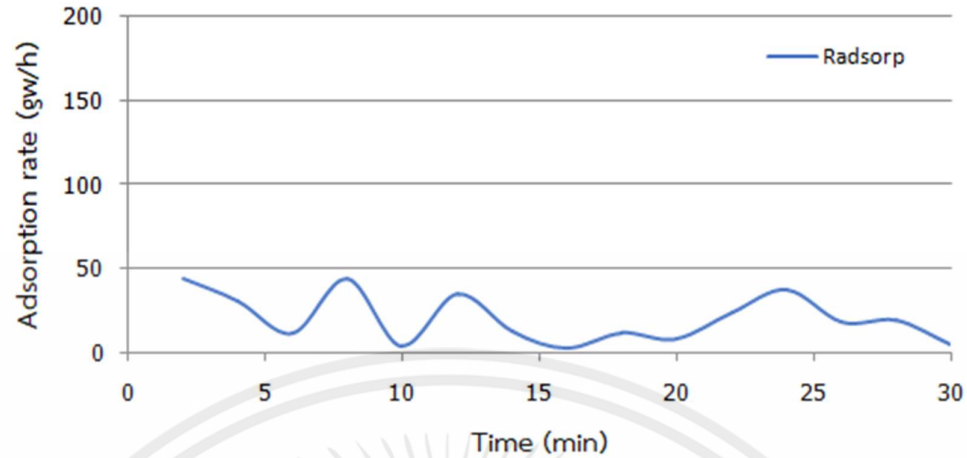
จากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าสำหรับชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดผงถ่านชาร์โคลจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 0.96 กิโลปาสกาล และ 40.0 กรัมต่อชั่วโมง



4.2 ผลการของการทดสอบความดันตกคร่อมและอัตราการดูดซับความชื้นของใยชานอ้อย

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองการลดความชื้นชนิดใยชานอ้อย ในช่วงอุณหภูมิอากาศ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นอากาศ 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.5	47.0	15.3	34.4	43.3	14.8	0.81	44.2
2	4	33.5	46.9	15.3	33.6	45.6	14.9	0.80	31.3
3	6	33.4	47.2	15.3	33.4	46.8	15.2	0.81	11.9
4	8	33.5	48.9	15.9	33.4	47.7	15.4	0.81	44.1
5	10	33.3	47.9	15.4	33.7	46.7	15.4	0.82	4.3
6	12	32.9	48.7	15.3	32.9	47.5	14.9	0.81	34.8
7	14	32.8	48.4	15.2	32.6	48.5	15.0	0.83	12.8
8	16	32.8	48.1	15.1	32.5	48.8	15.0	0.82	3.4
9	18	32.7	48.5	15.1	32.4	48.9	15.0	0.83	12.0
10	20	32.5	48.0	14.8	32.1	48.8	14.7	0.82	8.2
11	22	32.6	48.1	14.9	32.1	48.6	14.6	0.81	24.3
12	24	33.3	48.8	15.7	32.4	50.0	15.3	0.81	37.6
13	26	33.7	49.1	16.2	32.8	51.0	16.0	0.82	18.5
14	28	33.6	47.9	15.7	33.1	48.6	15.5	0.82	19.4
15	30	33.2	47.7	15.3	32.8	48.6	15.2	0.82	5.3
Average		33.2	48.1	15.4	32.9	48.0	15.1	0.82	20.8



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับชนิดไอโซซานอ้อยเทียบกับเวลาที่สภาวะอุณหภูมิอากาศ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นอากาศ 15 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นอัตราการดูดซับความชื้นต่อเวลา ซึ่งสังเกตเห็นว่าอัตราการดูดซับความชื้นไม่คงที่แล้วมีอัตราการดูดซับความชื้นที่ค่อยข้างต่ำเมื่อเทียบกับผงถ่านชาร์โคล โดยผงถ่านชาร์โคลที่ได้ทำการทดลองในช่วงสภาวะเดียวกันมีอัตราการดูดซับความชื้นเฉลี่ย 40.0 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนไอโซซานอ้อยอยู่ที่ 20.8 กรัมต่อชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นในอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส ความชื้น 10 ถึง 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 60 ถึง 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าในส่วนของอัตราการดูดซับความชื้นของผงถ่านชาร์โคล ตัวแปรสำคัญที่มีผลคืออุณหภูมิของอากาศ และอัตราการไหลของอากาศ สำหรับอัตราส่วนความชื้นนั้น มีผลน้อยมาก โดยผงถ่านชาร์โคลจะมีอัตราการดูดซับความชื้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำและช่วงอัตราการไหลที่สูง ซึ่งในสภาวะอุณหภูมิอากาศและอัตราส่วนความชื้นเดียวกันถ้ามีการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ ผงถ่านชาร์โคลจะมีอัตราการดูดซับความชื้นที่ติดตามไปด้วย ในส่วนของใยชานอ้อย จากผลการทดลองพบว่าไม่เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นสารลดความชื้น เนื่องจากมีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำ และด้วยกรรมวิธีที่ต้องขึ้นรูปก่อนนำมาใช้เป็นสารลดความชื้นที่มีต้นทุนพอสมควร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมผงถ่านชาร์โคลก่อนที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับความชื้นในการอบควรใช้ภาชนะที่ผิวไม่มันเงา เนื่องจากตู้อบมีการแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนออกมาในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อรังสีความร้อนไปกระทบวัตถุที่มันเงาจะเกิดการสะท้อนภายในตู้อบ จะทำให้ถ่านสะสมความร้อนจนลุกไหม้ได้
2. การอัดขึ้นรูปใยชานอ้อยเพื่อให้มีอัตราการดูดซับความชื้นที่เพิ่มขึ้น ควรอัดให้มีความหนาแน่นมากกว่านี้ หรือเปลี่ยนไปใช้วัสดุทางธรรมชาติชนิดอื่น
3. จากการทดลองถ้าวัตถุที่นำมาใช้เป็นสารดูดซับความชื้นมีปริมาณที่มากกว่านี้ จะสามารถเห็นค่าอัตราการดูดซับความชื้นที่กว้างกว่านี้
4. สภาวะสภาพอากาศภายนอกส่งผลต่ออุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นในการทดลอง ควรรอดูค่าจนนิ่งแล้วทำการทดลอง
5. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ ควรมีประสิทธิภาพและการตอบสนองที่แม่นยำกว่านี้ เพื่อการเก็บผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
6. จากสมการที่ได้จากการทดลองที่แสดงค่าในตาราง Summary ที่แสดงค่าความแม่นยำในการทดลอง ซึ่งค่าที่ได้ความแม่นยำค่อนข้างน้อย ถ้าหากอยากให้การทดลองมีความแม่นยำมากกว่านี้ สามารถเพิ่มปริมาณสารที่ใช้ในการทดลอง แต่เครื่องเป่าลมแรงดันสูงต้องมีกำลังมากกว่านี้ และเพิ่มระยะเวลาในการทดลองเพื่อให้ได้ผลที่ละเอียดกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไพรวลัย วงศ์ดี. (2554). ความชื้นของอากาศ. เข้าถึงเมื่อ 9 พฤษภาคม 2554. เข้าถึงได้จาก <https://www.gotoknow.org/posts/438663>.
- [2] วุฒิพงษ์ แสงมณี. (2556). ความชื้นในอากาศ. เข้าถึงเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2556. เข้าถึงได้จาก <http://www.geog.pn.psu.ac.th/CAIClimate/8Humid49.pdf>
- [3] จักกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. (2552). “อุปกรณ์ควบคุมมลพิษชนิดแก๊สและไอ”. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรม:การควบคุม. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- [4] ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช. (2565). “Project-RSM”. เอกสารประกอบการสอนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร
- [5] นายนพพร วิรุฬหารัตน์. (2556). การประหยัดพลังงานกับเครื่องลดความชื้น. การประหยัดพลังงานกับเครื่องลดความชื้น. 12-19.
- [6] กฤษณา บุญชม,จุฑามาศ เตียวสกุลม,กมลวรรณ ทิพวรรณ. (2020). “สมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านผลไม้”, วารสารวิจัยและพัฒนาวิจัยและพัฒนายุทธศาสตร์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 77-89.
- [7] ศิวพงษ์กาญจน์วิภาพร ,ไพโรจน์ธนาภาพพันธุ์ และ พงศ์คณิต พงษ์พิทักษ์. (2546). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าว.
- [8] ลักษณ์ สุทธิวิไลรัตน์, ประภัสสร ภาคอรธร และ ขวัญรพี สิทธิรสอาด. (2557). การเพิ่มมูลค่าเศษเหลือจากโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์โดยการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง.
- [9] User. (2549). Carrier psychrometric charts (SI and Alt).cdr. เข้าถึงเมื่อ 24 กรกฎาคม 2549. เข้าถึงได้จาก <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt>
- [10] พงศ์ระยา พงษ์ยี่หล้า. (2559). “การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ”. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [11] อรนิช อุปรี. (2559). “ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและแห้งมันสัมปะหลังในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม”. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [12] นพพร วิรุฬหารัตน์. (2556). “การประหยัดพลังงานกับเครื่องลดความชื้น.” บทความวิชาการ, 8:12-19.
- [13] ปรินทร เต็มญารศิลป์. (2551). “การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตง และไผ่หมาจู.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) สาขาเคมีอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- [14] จิตตา สาตร์เพ็ชร์, มยุรา ล้านไชย และประชุมพร แสนรักษ์. (2019). “ประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนจากกากกล้วย ที่มีถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง.” Volume 9, Supplement 4: 501-511.
- [15] ศิริพร เต็งรัง. (2564). “วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร.” กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร.
- [16] กนกศักดิ์ ลอยเลิศ. (2564). “วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร.” กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร.
- [17] วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร. (2564). “วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร.” กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร.
- [18] มัลลิกา ธาบุตร. (2010). “การพัฒนาตัวดูดซับโลหะหนักและสีย้อมผ้าแทนถ่านกัมมันต์เชิงการค้า.” วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [19] อารยา ปานทั้ง, และปรีชา ปัญญา. (2560). “การดูดซับโครเมียม (III) บนถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดฟอสฟอริก และถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง.” ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร ครั้งที่ 3. 400-409. มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร. 12/4/2560.
- [20] บุญส่ง จุฑารัตน์. (2555.) “การกำจัดสีรีแอกทีฟแบล็ค 5 จากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [21] Sudeep Kumara K, Naregundi Karunakara, Balvinder K Sapra, et al. (2014.) Effect of humidity on thoron adsorption in activated charcoal bed. Available from (PDF) Effect of humidity on thoron adsorption in activated charcoal bed (researchgate.net)
- [22] บริษัท ขอบธรรม จำกัด. (2014.) “ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบความชื้น.” Available from ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดิบความชื้น (chobtham.com).



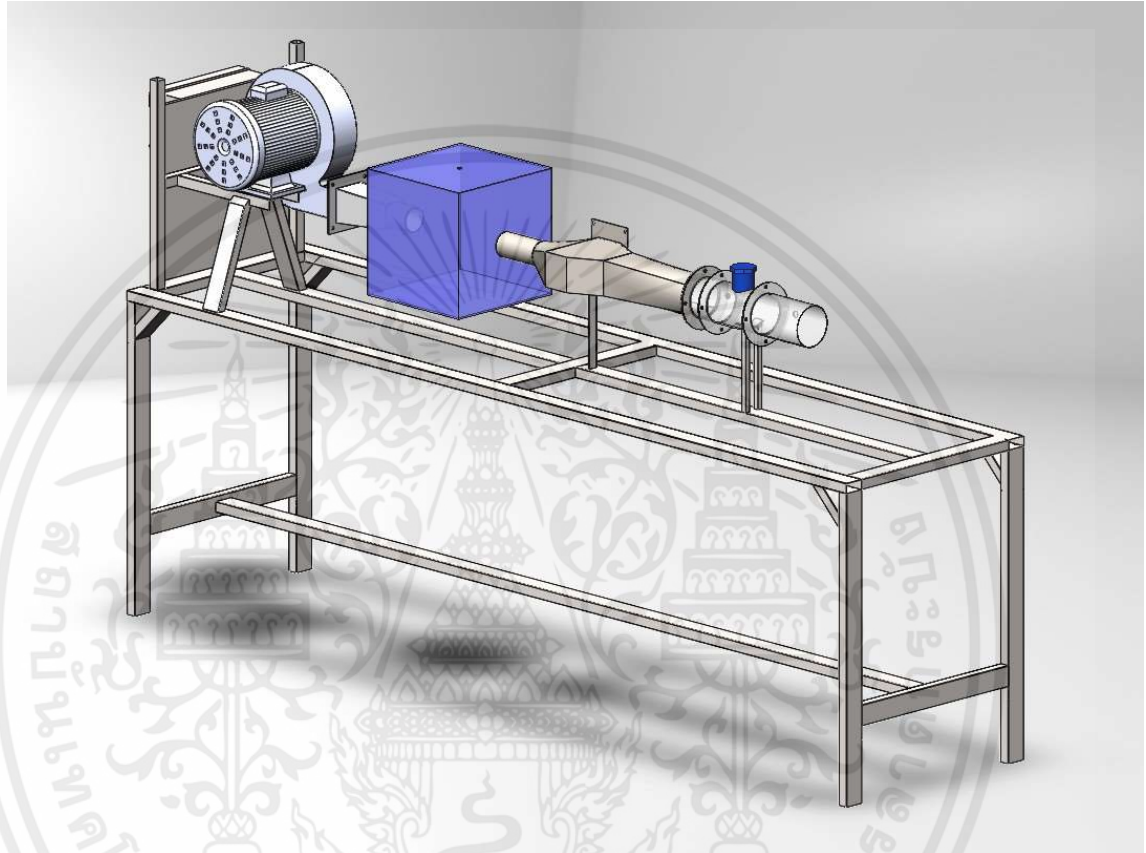
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

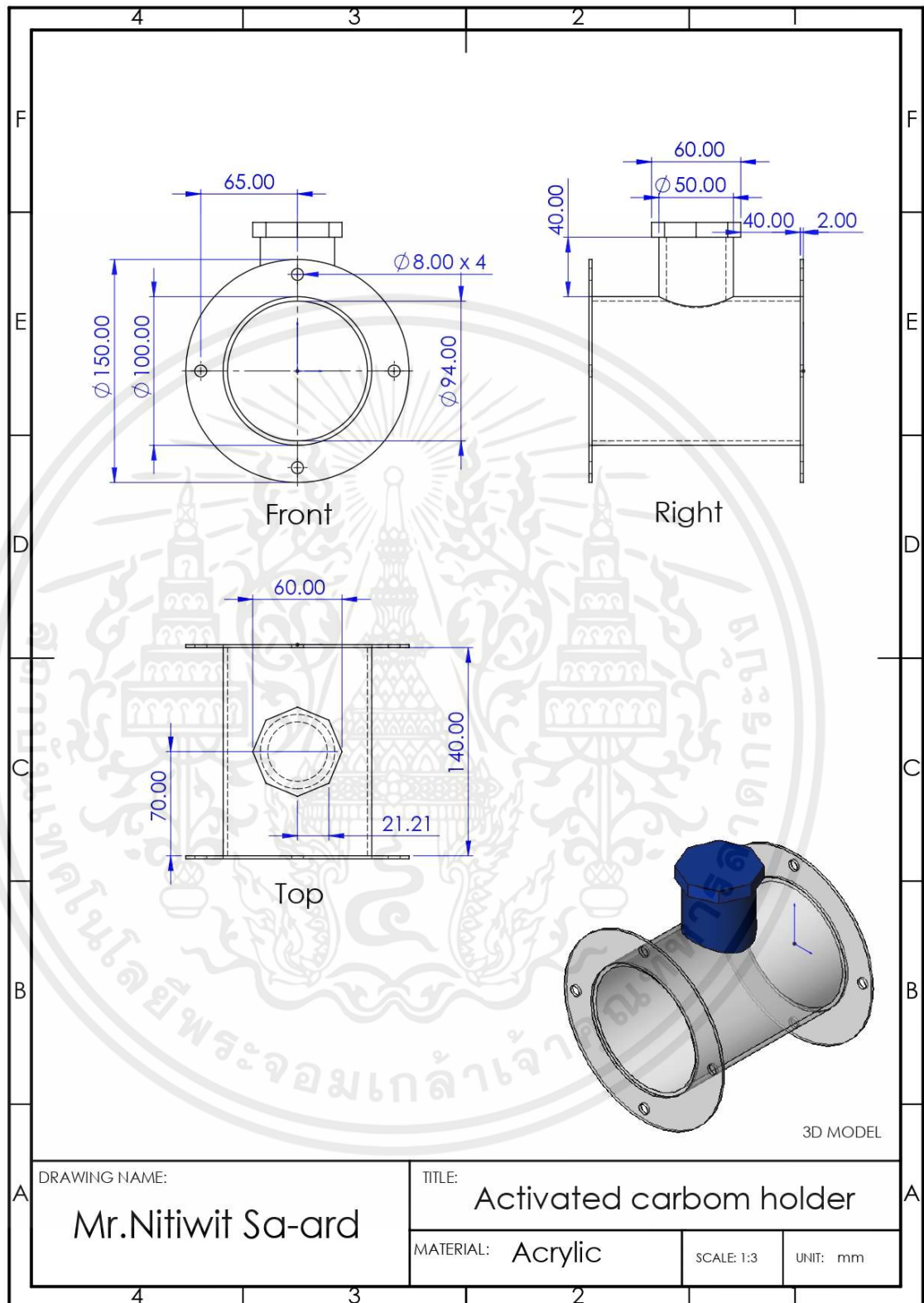


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

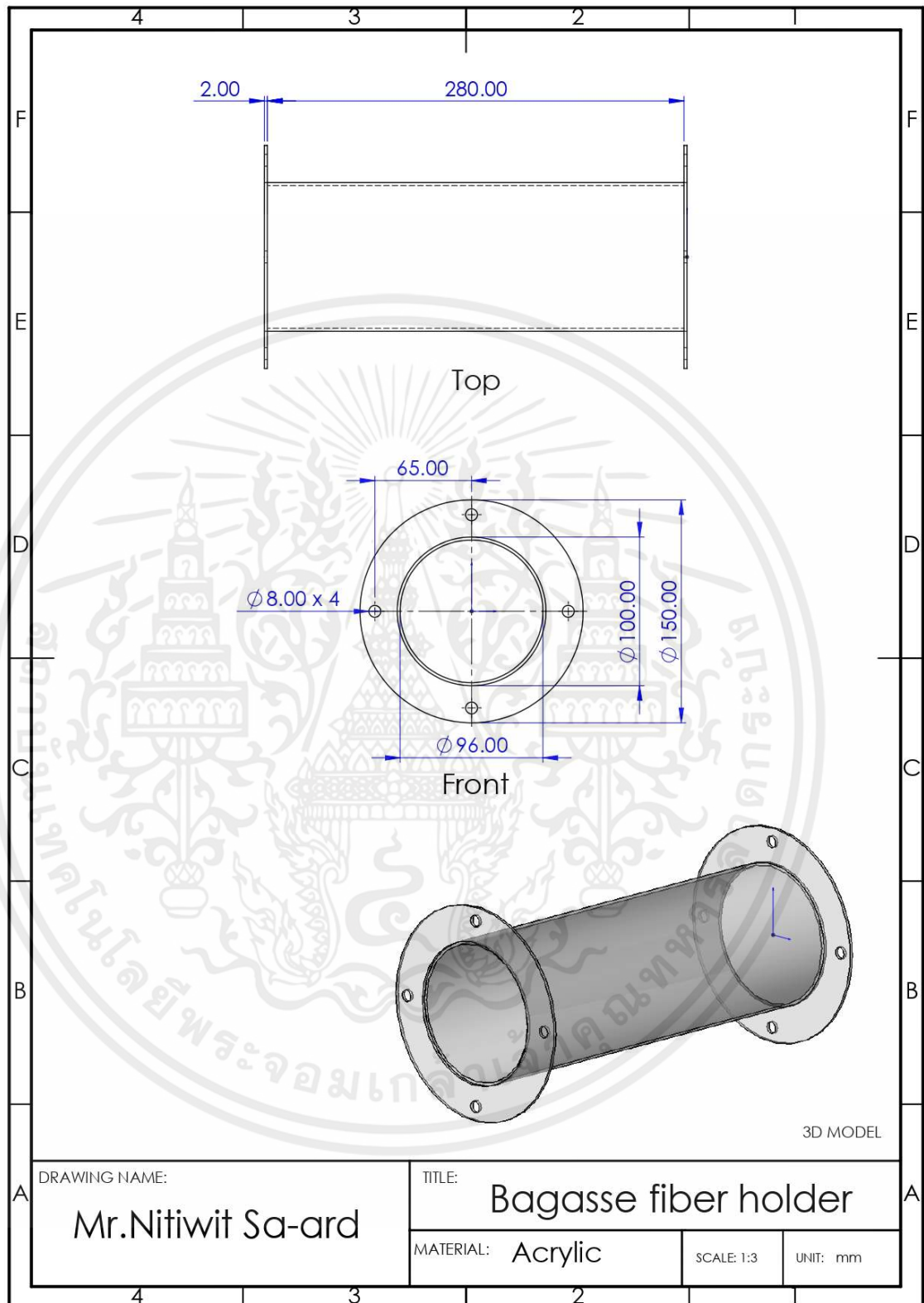
แบบเครื่องทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อชุดลดความชันชนิด
ผงถ่านชาร์โคลและเส้นใยชานอ้อย



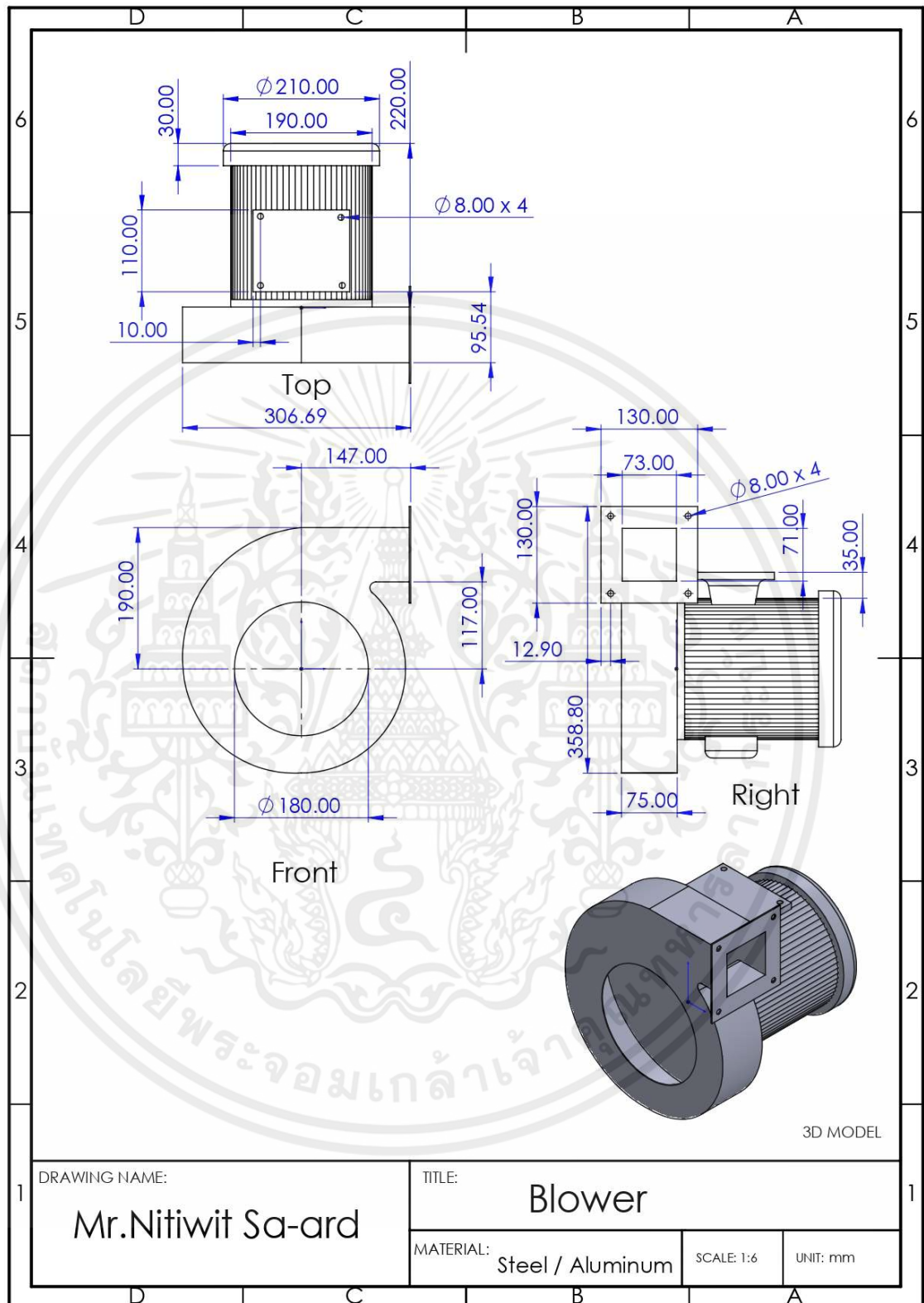
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



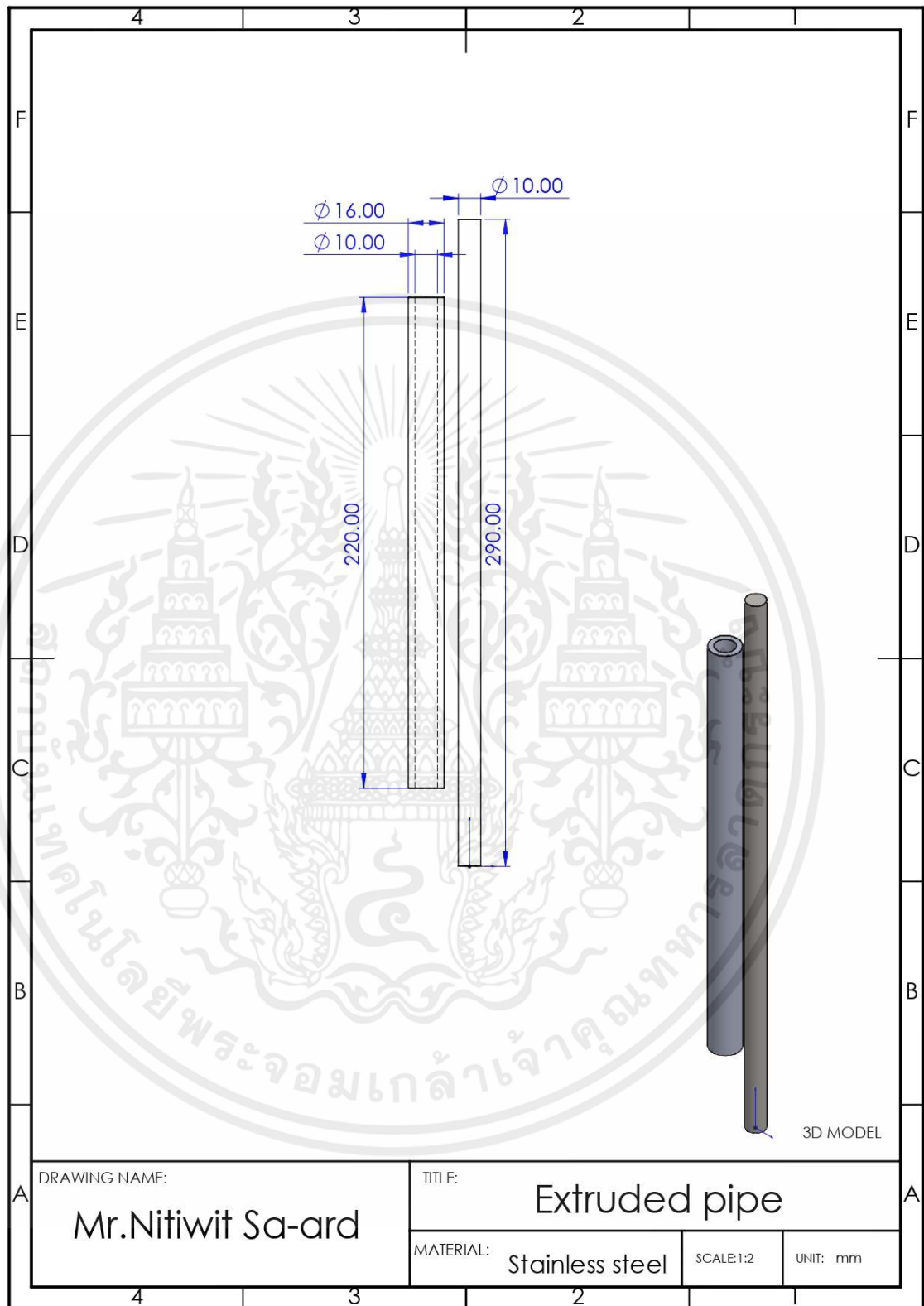
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



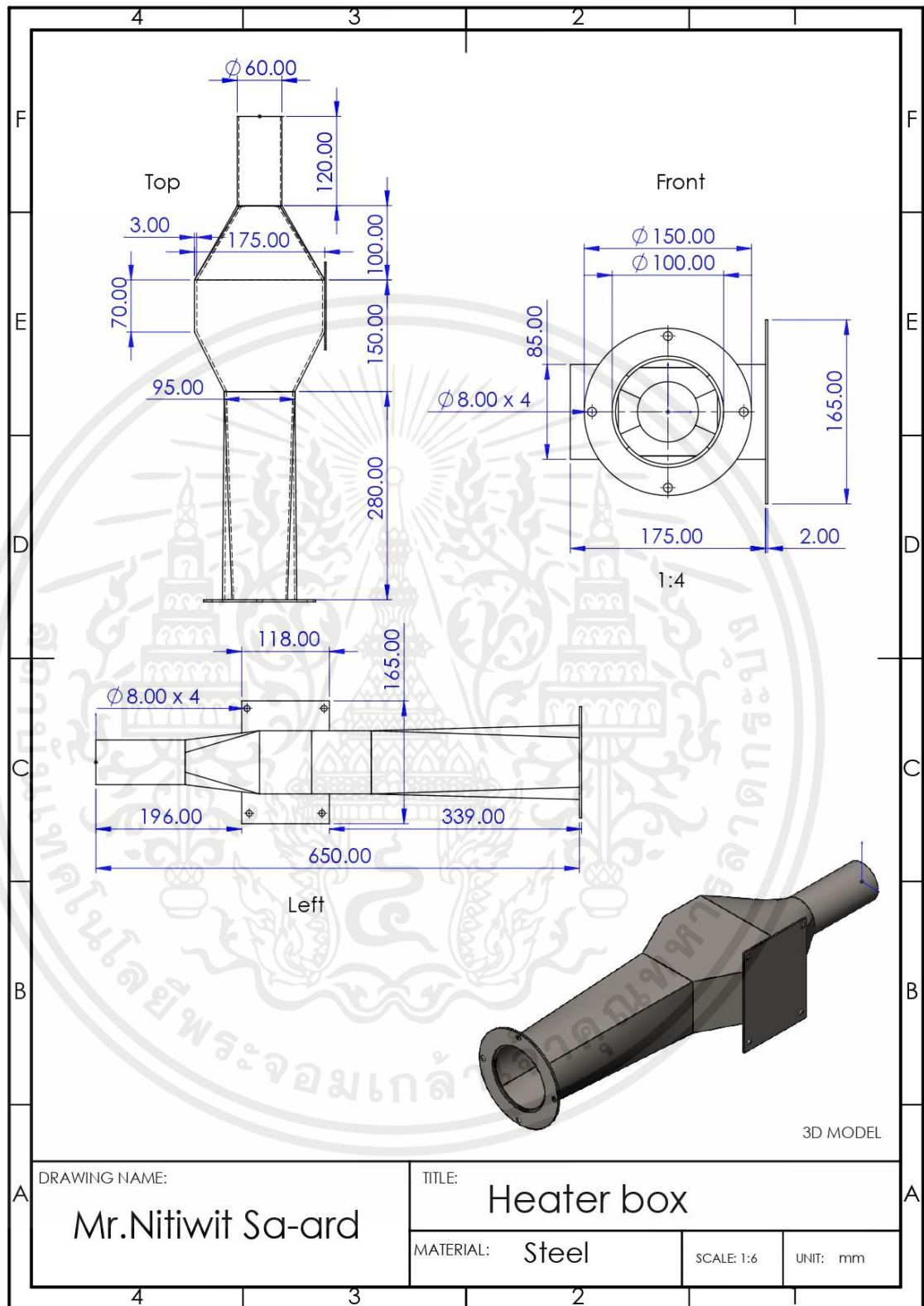
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



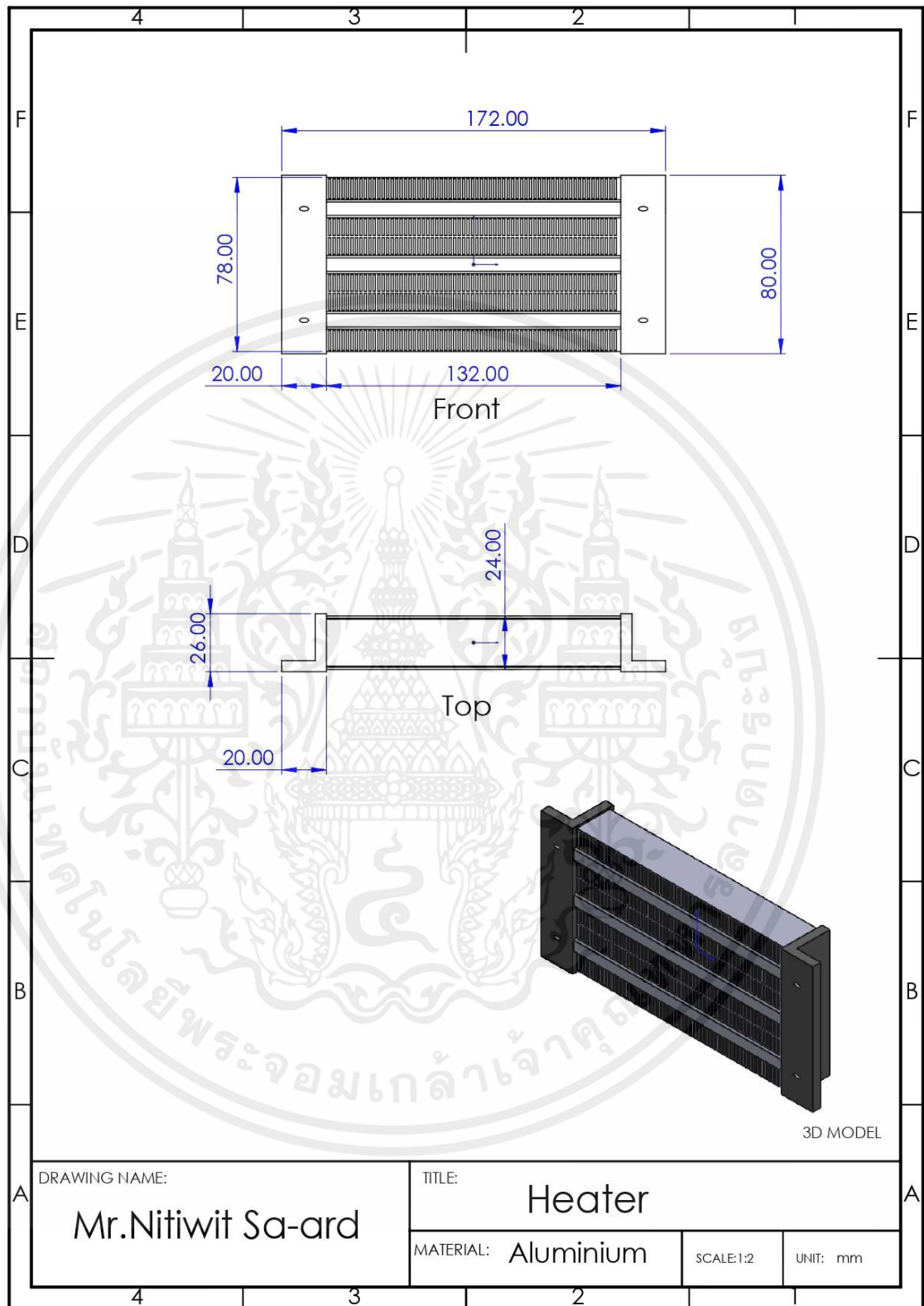
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



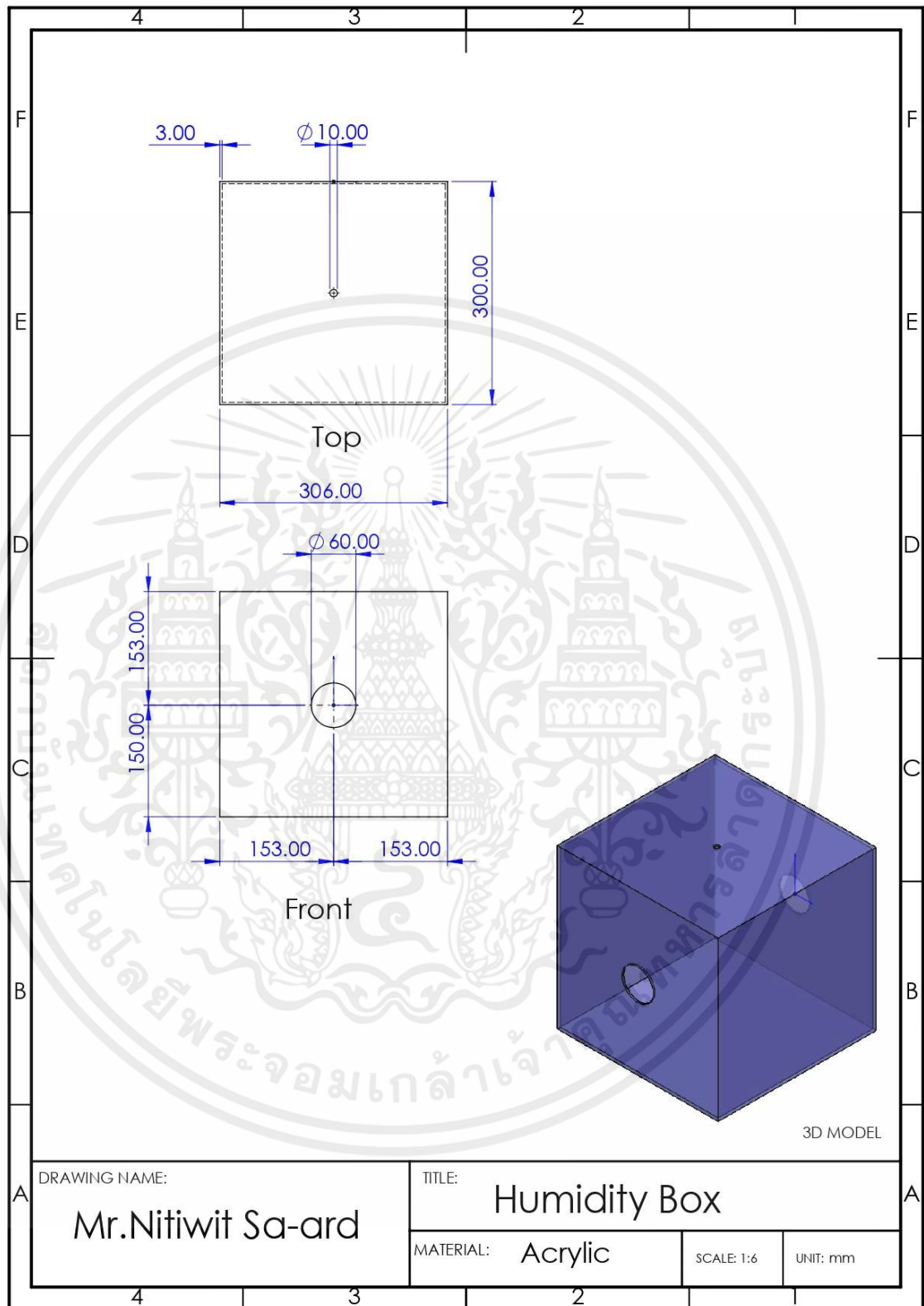
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



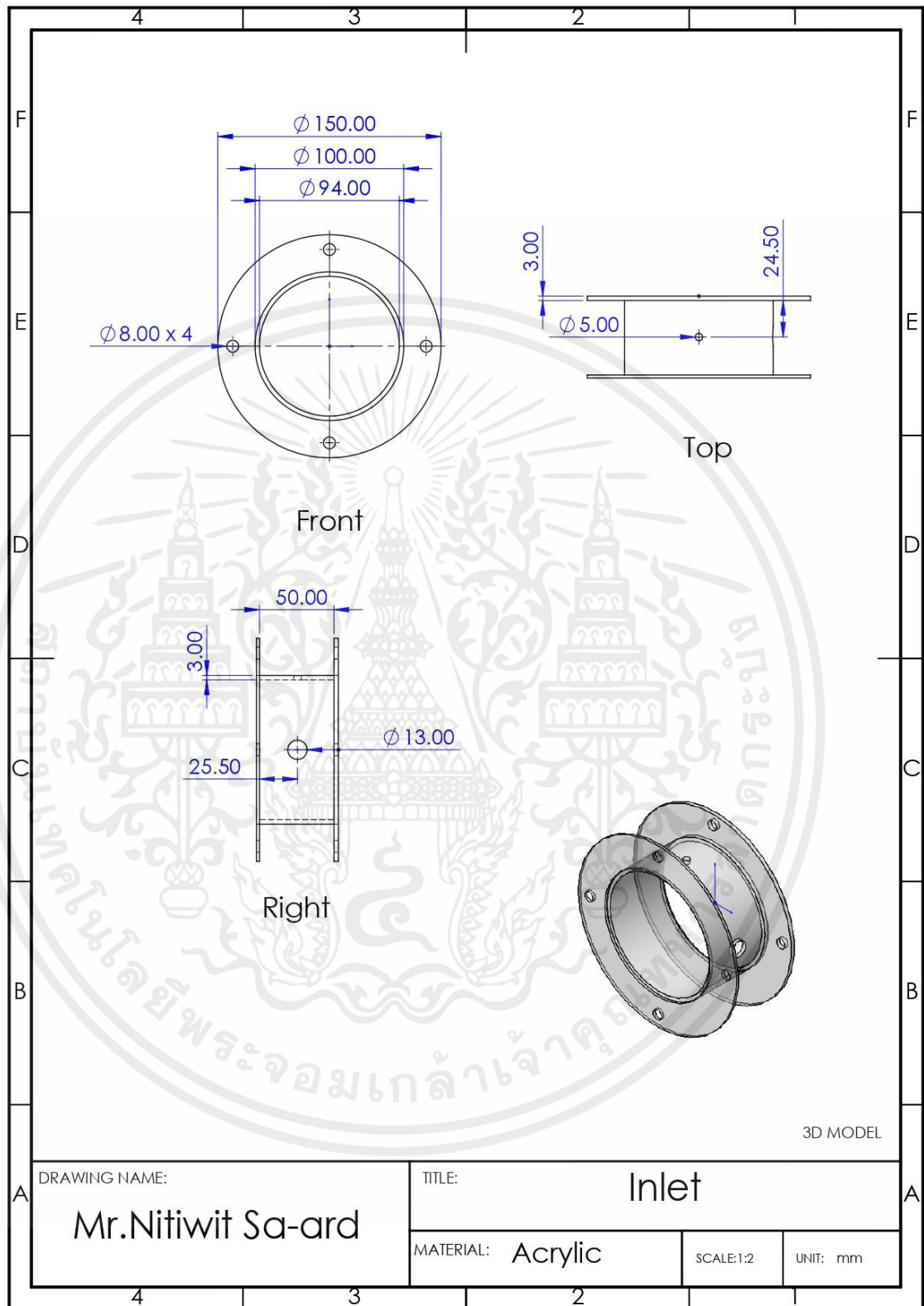
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



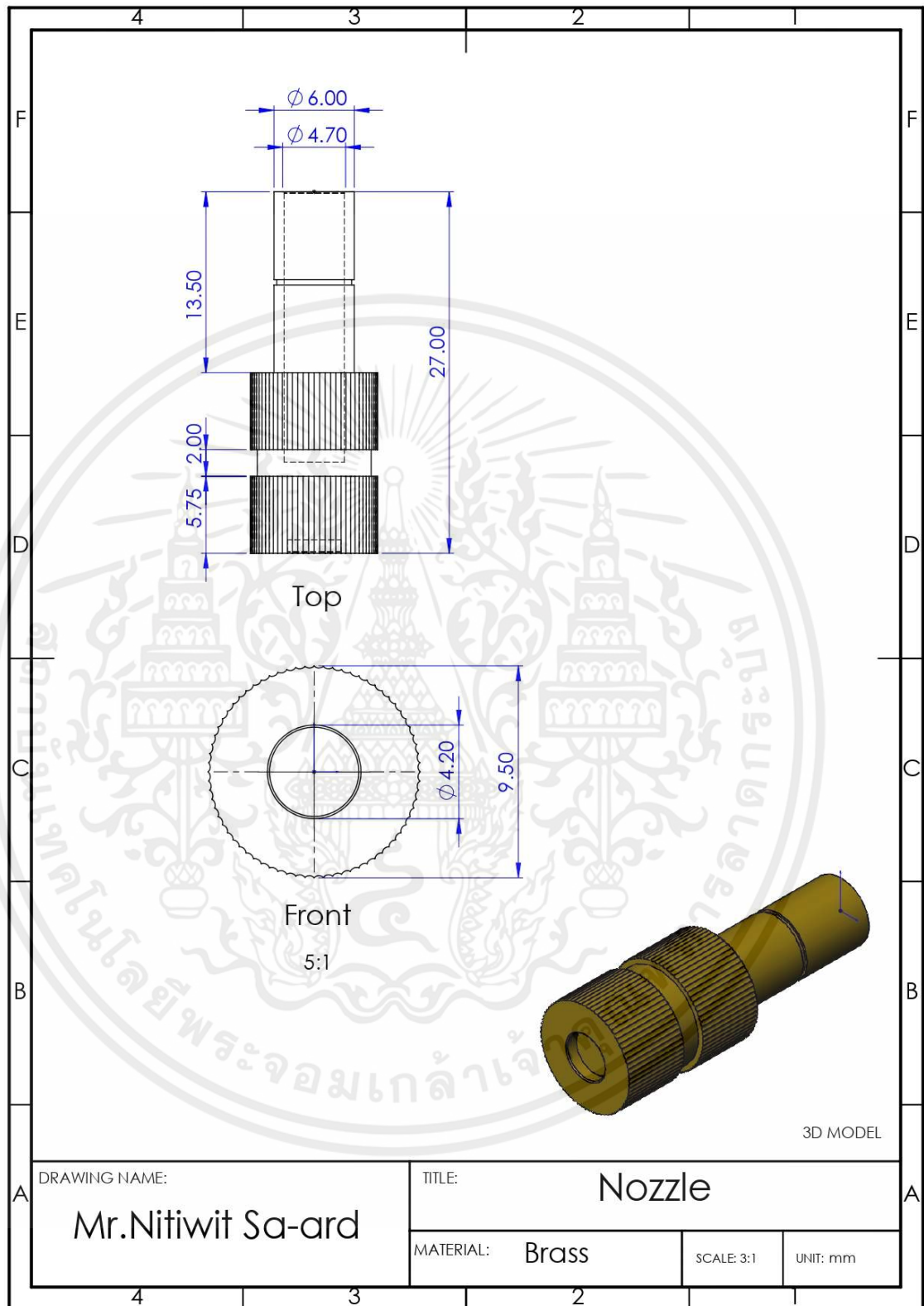
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



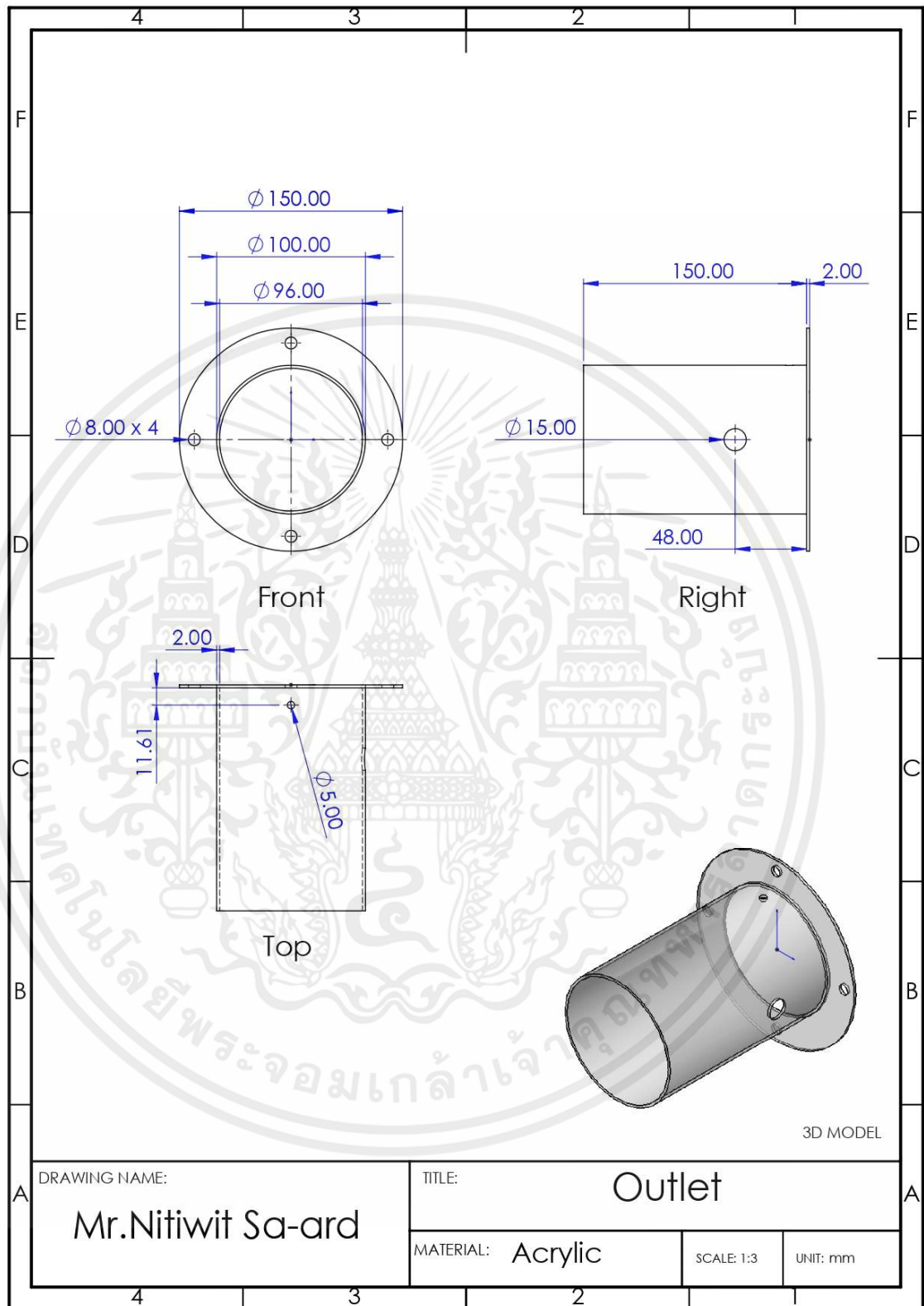
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



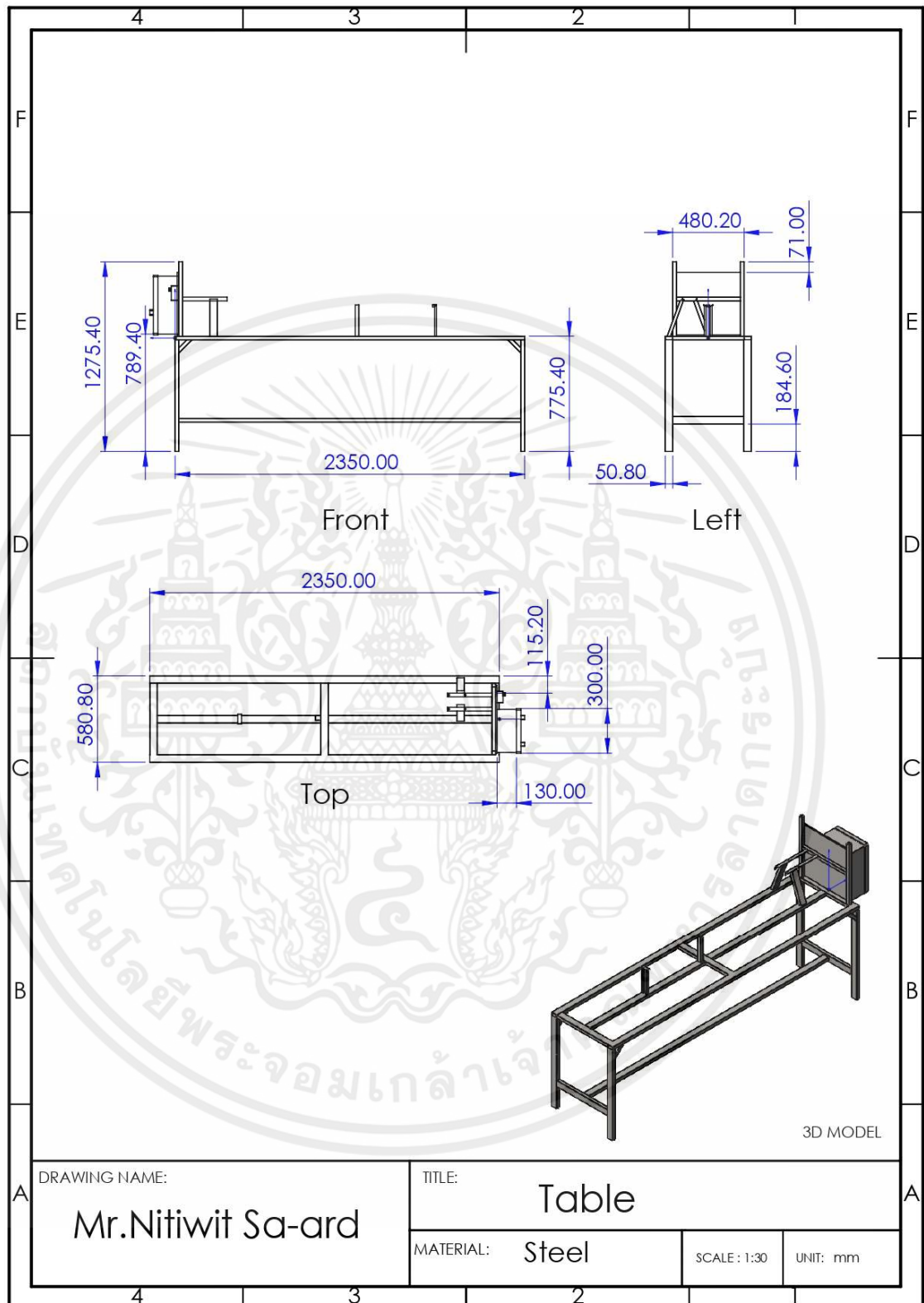
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



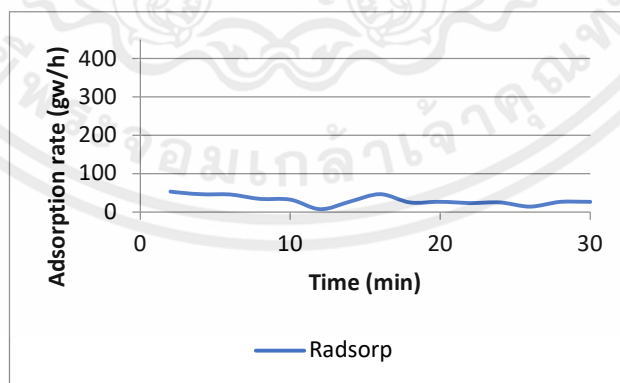
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 ผงถ่านชาร์โคล T = 28 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 72 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{in} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{out} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	28	54.8	13.0	32.5	40	12.3	0.56	52.8
2	4	27.9	52.3	12.3	30.3	43.2	11.7	0.61	46.1
3	6	27.9	52.3	12.3	29.3	45.8	11.7	0.64	45.3
4	8	28	53.4	12.7	29.3	47.7	12.2	0.6	34.2
5	10	27.9	51.6	12.1	28.8	47.2	11.7	0.63	32.2
6	12	28	53	12.6	28.8	50.2	12.5	0.7	7.2
7	14	28	52.9	12.5	28.8	49	12.2	0.61	27.3
8	16	27.9	52.7	12.4	28.4	48.6	11.8	0.6	46.0
9	18	28	52	12.3	28.4	49.4	12.0	0.64	25.0
10	20	28.1	53	12.6	28.6	50	12.3	0.58	26.7
11	22	28	50.9	12.0	28.3	48.7	11.7	0.63	23.3
12	24	27.9	51.2	12.0	28.1	49.2	11.7	0.63	24.6
13	26	28	52.1	12.3	28.3	50.4	12.1	0.62	14.1
14	28	28	50.6	12.0	28.1	48.8	11.6	0.64	26.3
15	30	28.1	52	12.4	28.2	50.2	12.0	0.66	26.3
Average		28.0	52.3	12.4	28.9	47.9	12.0	0.62	30.5

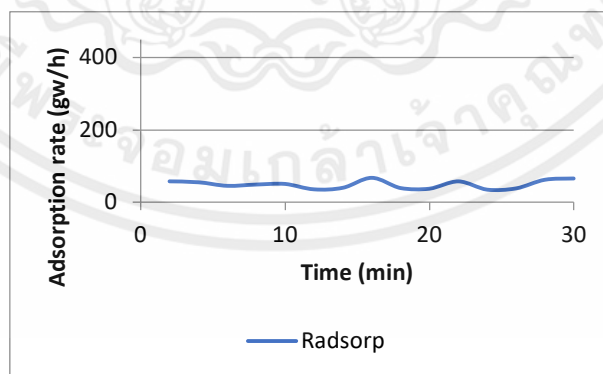


รูปที่ ข.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 ผงถ่านชาร์โคล T = 37 °C W = 12 g_w/kg_{da} M = 72 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{out} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	37.7	33.2	13.6	39.1	29.0	12.8	0.83	57.9
2	4	36.6	34.9	13.5	37.9	30.7	12.7	0.81	55.2
3	6	36.6	33.7	13.0	37.0	31.4	12.3	0.81	45.4
4	8	36.7	32.6	12.6	36.5	31.2	11.9	0.81	49.4
5	10	36.9	31.8	12.4	36.5	30.7	11.7	0.80	50.6
6	12	36.4	31.7	12.1	36.3	30.6	11.6	0.80	35.3
7	14	37.3	30.3	12.1	36.4	30.4	11.6	0.81	39.8
8	16	36.6	31.9	12.3	36.0	30.5	11.3	0.81	67.3
9	18	36.8	31.6	12.3	36.1	31.4	11.7	0.79	39.4
10	20	36.7	31.0	12.0	35.9	31.0	11.5	0.80	37.7
11	22	36.6	31.6	12.2	35.5	31.4	11.4	0.80	57.5
12	24	37.4	30.9	12.4	36.5	31.2	11.9	0.80	35.2
13	26	36.7	30.7	11.9	36.0	30.5	11.3	0.81	38.2
14	28	37.3	31.1	12.4	36.0	31.1	11.6	0.80	62.5
15	30	37.1	31.9	12.6	36.1	31.3	11.7	0.81	65.7
Average		36.9	31.9	12.5	36.5	30.8	11.8	0.81	49.1

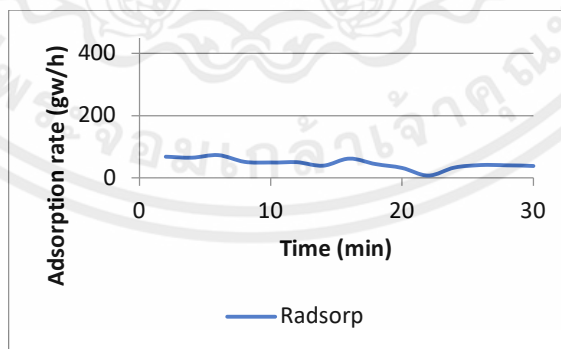


รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.3 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 3 ผงถ่านชาร์โคล T = 28 °C W = 18 g_w/kg_{da}

M = 72 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	28.7	76.6	19.1	35.4	49.9	18.1	0.54	68.7
2	4	28.5	76.8	18.9	35.2	50.1	18.0	0.54	65.4
3	6	28.0	76.9	18.4	32.5	56.2	17.4	0.37	73.7
4	8	28.2	76.0	18.4	31.4	60.8	17.7	0.41	52.3
5	10	28.3	76.4	18.6	31.1	62.7	17.9	0.41	49.4
6	12	28.5	75.9	18.7	30.9	63.7	18.0	0.40	50.5
7	14	28.0	75.2	18.0	30.3	63.9	17.4	0.42	39.2
8	16	27.9	78.1	18.6	29.9	66.4	17.7	0.41	62.5
9	18	28.1	76.3	18.3	29.8	66.9	17.7	0.40	44.2
10	20	28.2	76.2	18.4	29.8	67.8	18.0	0.42	32.7
11	22	28.2	76.0	18.4	29.7	69.3	18.3	0.41	7.5
12	24	28.4	77.0	18.9	29.8	69.3	18.4	0.42	33.8
13	26	28.5	77.6	19.1	29.8	69.9	18.5	0.43	41.1
14	28	28.6	76.7	19.0	29.8	69.5	18.4	0.41	40.6
15	30	28.7	77.2	19.2	29.8	70.5	18.7	0.41	38.4
Average		28.3	76.6	18.7	31.0	63.8	18.0	0.43	46.7

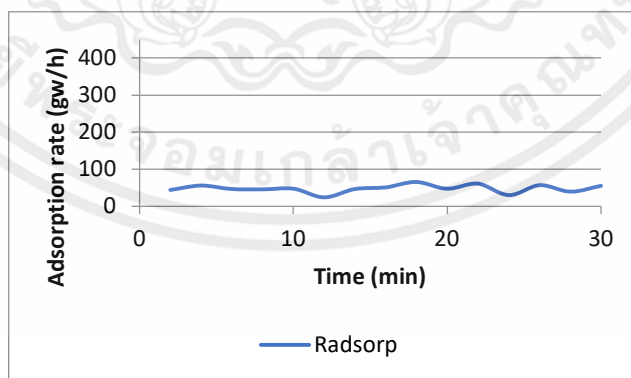


รูปที่ ข.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 4 ผงถ่านชาร์โคล T = 28 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 72 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	36.5	44.9	17.3	37.8	40.4	16.7	0.67	43.8
2	4	36.4	46.7	17.9	37.3	42.6	17.2	0.66	55.6
3	6	36.4	46.1	17.7	36.8	43.5	17.0	0.67	46.5
4	8	36.7	44.9	17.5	36.5	43.8	16.9	0.63	45.5
5	10	37.5	45.5	18.6	37.1	44.9	17.9	0.68	47.3
6	12	36.8	46.7	18.3	37.2	44.9	18.0	0.65	23.6
7	14	36.8	46.9	18.4	35.9	47.6	17.8	0.67	46.2
8	16	37.0	47.2	18.7	36.2	47.5	18.0	0.66	51.0
9	18	36.9	46.4	18.3	36.0	46.4	17.4	0.67	65.1
10	20	37.1	45.9	18.3	36.1	46.8	17.7	0.67	47.0
11	22	37.2	46.2	18.5	36.1	46.9	17.7	0.65	60.5
12	24	36.9	45.1	17.8	36.0	46.3	17.4	0.65	29.9
13	26	37.6	46.3	19.0	36.3	47.7	18.2	0.65	56.7
14	28	37.3	46.0	18.6	36.3	47.2	18.0	0.65	39.1
15	30	37.0	45.8	18.2	35.8	46.9	17.4	0.63	55.3
Average		36.9	46.0	18.2	36.5	45.6	17.6	0.66	47.5

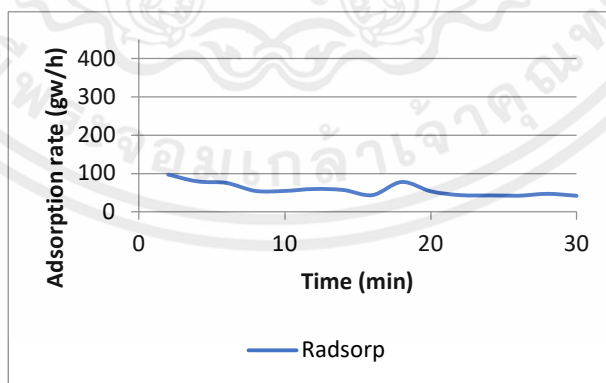


รูปที่ ข.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 5 ผงถ่านชาร์โคล T = 28 °C W = 12 g_w/kg_{da} M = 108 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	28.8	51.8	12.9	30.2	44.5	12.0	1.51	97.3
2	4	28.9	49.6	12.4	29.7	44.6	11.6	1.51	79.4
3	6	28.9	50.6	12.6	29.7	45.7	11.9	1.52	75.3
4	8	28.7	49.6	12.2	29.4	45.7	11.7	1.56	54.6
5	10	28.1	50.1	11.9	28.8	46.1	11.4	1.53	54.6
6	12	28.2	50.5	12.1	28.6	47.1	11.5	1.56	59.8
7	14	27.9	51.1	12.0	28.4	47.5	11.5	1.49	56.9
8	16	28.1	49.9	11.9	28.4	47.4	11.5	1.53	43.6
9	18	28.0	51.3	12.1	28.4	47.2	11.4	1.52	77.8
10	20	27.9	49.9	11.7	28.2	47.0	11.2	1.48	53.6
11	22	27.9	50.5	11.9	28.3	47.7	11.5	1.50	43.4
12	24	27.8	51.4	12.0	28.2	48.6	11.6	1.54	42.6
13	26	27.7	51.4	12.0	28.1	48.6	11.6	1.50	42.3
14	28	27.7	51.7	12.0	28.0	49.0	11.6	1.49	46.9
15	30	27.7	52.4	12.2	28.1	49.6	11.8	1.51	41.7
Average		28.2	50.8	12.1	28.7	47.1	11.6	1.52	58.0

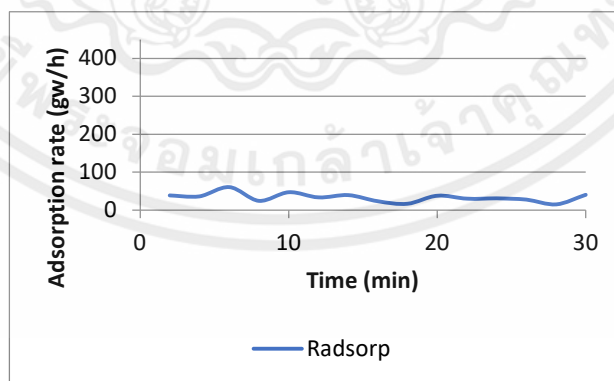


รูปที่ ข.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 6 ผงถ่านชาร์โคล T = 37 °C W = 12 g_w/kg_{da} M = 108 Kg/h

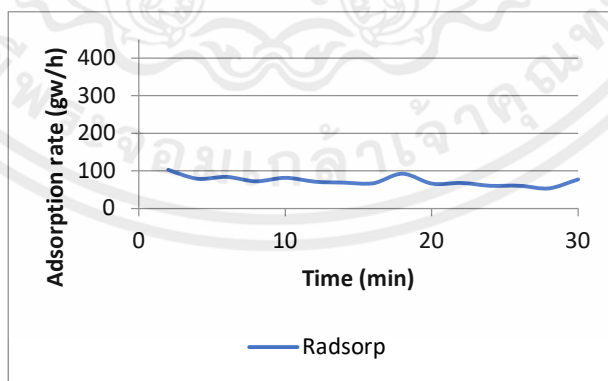
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	36.1	31.9	11.9	39.1	26.3	11.6	1.60	39.1
2	4	37.2	30.0	11.9	38.9	26.6	11.6	1.59	36.6
3	6	36.5	32.1	12.3	38.1	28.1	11.7	1.61	60.9
4	8	37.2	30.5	12.1	38.3	28.2	11.9	1.65	24.8
5	10	36.8	31.1	12.1	38.0	28.1	11.7	1.62	47.3
6	12	36.8	31.0	12.1	38.2	28.0	11.7	1.65	33.7
7	14	37.1	30.9	12.2	38.5	27.8	11.8	1.66	39.6
8	16	37.3	31.0	12.4	38.6	28.4	12.2	1.57	23.3
9	18	36.5	31.0	11.9	38.0	28.2	11.7	1.60	16.9
10	20	36.5	31.1	11.9	37.3	28.9	11.5	1.60	38.3
11	22	37.1	30.9	12.2	38.3	28.3	11.9	1.59	30.3
12	24	36.9	31.2	12.2	38.2	28.4	11.9	1.56	31.1
13	26	36.8	30.8	12.0	38.1	28.1	11.7	1.57	27.5
14	28	37.1	31.1	12.3	38.5	28.5	12.2	1.55	15.4
15	30	37.0	32.0	12.6	38.2	29.1	12.2	1.60	40.8
Average		36.9	31.1	12.1	38.3	28.1	11.8	1.60	33.7



รูปที่ ข.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.7 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 7 ผงถ่านชาร์โคล T = 28 °C W = 18 g_w/kg_{da} M = 108 Kg/h

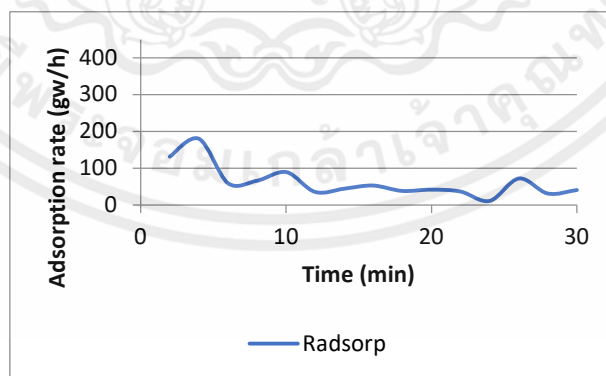
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	28.4	74.3	18.2	31.3	59.7	17.2	1.53	102.4
2	4	27.6	78.3	18.3	30.4	64.0	17.5	1.56	79.0
3	6	27.7	77.5	18.2	29.9	65.4	17.4	1.58	83.7
4	8	27.6	76.6	17.9	29.5	66.1	17.2	1.55	72.4
5	10	27.9	75.9	18.0	29.0	68.3	17.3	1.60	81.6
6	12	27.5	77.3	17.9	28.8	69.1	17.3	1.58	71.3
7	14	27.6	76.1	17.8	28.7	68.9	17.1	1.59	68.4
8	16	28.2	75.3	18.2	28.9	69.9	17.6	1.87	67.2
9	18	28.1	77.1	18.5	29.0	69.9	17.7	1.59	92.2
10	20	27.7	76.3	17.9	28.5	70.4	17.3	1.57	66.2
11	22	28.0	76.4	18.3	28.7	70.9	17.6	1.58	67.8
12	24	28.1	76.1	18.3	28.8	70.9	17.7	1.58	60.3
13	26	28.5	75.4	18.6	29.0	71.1	18.0	1.60	60.4
14	28	28.0	76.5	18.3	28.8	71.1	17.8	1.62	53.6
15	30	28.1	76.1	18.3	28.6	71.1	17.6	1.54	77.5
Average		27.9	76.3	18.2	29.2	68.5	17.5	1.60	73.6



รูปที่ ข.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.8 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 8 ผงถ่านชาร์โคล T = 37°C W = 18 g_w/kg_{sda} M = 90 Kg/h

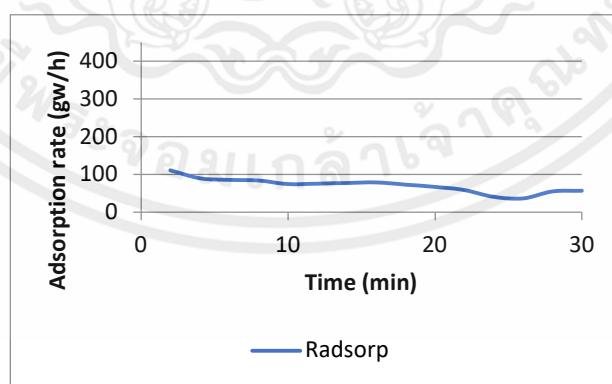
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{sda})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{sda})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	37.3	47.3	19.1	39.5	39.4	17.9	1.52	131.7
2	4	36.8	48.3	19.0	39.1	39.0	17.3	1.52	180.2
3	6	37.0	45.1	17.9	38.7	39.9	17.3	1.55	59.5
4	8	37.0	46.5	18.5	38.9	40.6	17.8	1.53	66.3
5	10	37.3	46.3	18.7	38.6	41.3	17.9	1.57	89.2
6	12	37.3	46.6	18.8	39.4	40.9	18.5	1.53	35.6
7	14	37.1	46.2	18.4	38.9	41.0	18.0	1.58	44.6
8	16	37.3	46.1	18.6	38.9	41.2	18.1	1.58	52.8
9	18	37.3	46.1	18.6	38.9	41.5	18.3	1.54	38.2
10	20	37.3	45.4	18.3	38.8	41.0	17.9	1.54	41.9
11	22	36.8	46.5	18.3	38.7	41.2	17.9	1.58	36.2
12	24	36.4	46.1	17.7	38.5	40.9	17.6	1.56	11.0
13	26	36.9	46.5	18.4	38.6	40.9	17.7	1.58	72.5
14	28	37.0	45.3	18.0	38.5	41.1	17.7	1.58	31.7
15	30	36.8	46.8	18.4	38.6	41.6	18.0	1.59	40.8
Average		37.0	46.3	18.4	38.8	40.8	17.9	1.56	62.2



รูปที่ ข.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.9 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 9 ผงถ่านชาร์โคล T = 25 °C W = 15 g_w/kg_{sda} M = 90 Kg/h

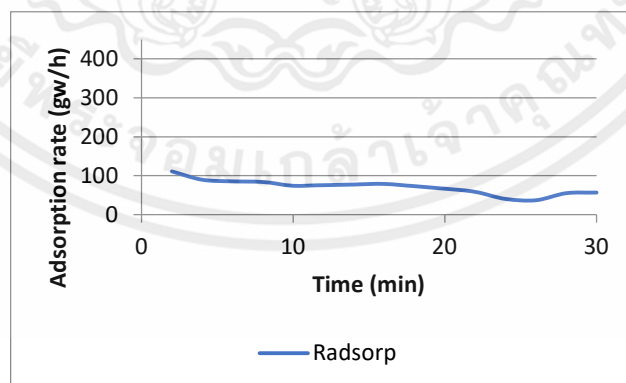
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{sda})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{sda})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	24.5	76.3	14.7	30.5	49.3	13.5	0.97	111.4
2	4	25.0	75.1	15.0	29.1	55.2	14.0	0.95	89.9
3	6	24.9	76.1	15.1	28.7	57.1	14.1	0.98	85.7
4	8	25.4	75.2	15.4	28.4	59.3	14.4	0.97	84.0
5	10	25.0	76.8	15.3	28.1	60.6	14.5	0.97	74.5
6	12	25.4	76.4	15.6	28.0	62.1	14.8	0.98	75.9
7	14	25.4	76.9	15.7	27.8	63.2	14.8	0.98	77.5
8	16	25.1	76.8	15.4	26.9	65.2	14.5	0.99	78.9
9	18	25.5	77.6	16.0	27.2	66.7	15.1	0.92	73.2
10	20	25.0	77.4	15.4	26.7	66.7	14.7	0.96	66.7
11	22	24.8	76.7	15.1	26.4	66.8	14.4	0.95	58.9
12	24	24.7	75.6	14.8	26.1	67.5	14.3	0.94	40.4
13	26	24.8	75.6	14.9	26.1	68.1	14.5	0.94	36.8
14	28	25.1	76.0	15.2	26.2	68.4	14.6	0.94	55.2
15	30	24.8	76.8	15.1	26.1	68.2	14.5	0.95	56.7
Average		25.0	76.4	15.2	27.5	63.0	14.5	0.96	71.0



รูปที่ ข.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.10 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 10 ผงถ่านชาร์โคล T = 40 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 90 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	40.5	34.1	16.3	41.7	30.7	15.6	0.99	61.2
2	4	39.6	35.3	16.1	40.2	32.9	15.4	0.99	55.8
3	6	39.6	33.1	15.0	39.4	32.4	14.6	0.99	43.7
4	8	39.9	33.3	15.4	39.1	33.4	14.8	0.99	55.3
5	10	39.9	33.8	15.6	39.1	33.9	15.0	0.99	56.3
6	12	39.8	33.7	15.5	39.1	33.8	15.0	0.99	48.4
7	14	39.9	32.8	15.1	38.8	33.4	14.5	0.99	55.8
8	16	39.8	35.1	16.1	39.0	35.2	15.5	0.99	58.4
9	18	39.7	34.1	15.6	38.8	34.7	15.1	0.99	43.6
10	20	40.0	34.1	15.8	38.9	35.1	15.4	0.99	43.2
11	22	39.9	33.2	15.3	38.7	34.4	14.9	0.99	40.1
12	24	39.9	32.5	15.0	38.5	33.8	14.5	0.99	48.7
13	26	39.9	32.8	15.1	38.7	33.8	14.6	0.99	47.0
14	28	39.8	33.2	15.3	38.7	34.3	14.8	0.99	36.6
15	30	39.9	31.4	14.5	38.4	33.2	14.1	0.99	32.6
Average		39.9	33.5	15.5	39.1	33.7	14.9	0.99	48.4

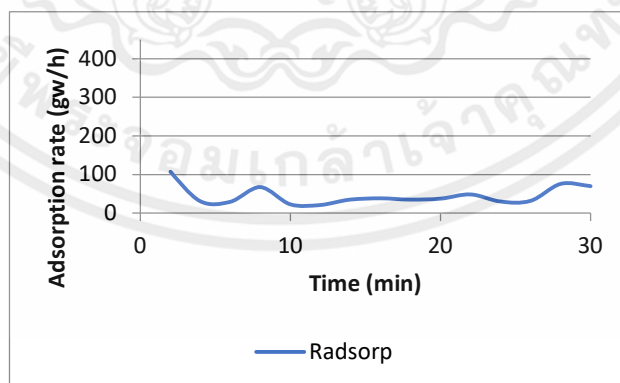


รูปที่ ข.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 11 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 10 g_w/kg_{da} M = 90 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	34.4	38.9	13.3	34.8	34.7	12.1	0.67	107.1
2	4	32.3	34.0	10.3	32.4	32.7	9.9	0.70	30.8
3	6	33.5	31.1	10.0	32.8	31.3	9.7	0.71	29.7
4	8	32.5	32.2	9.8	31.1	32.3	9.1	0.72	67.3
5	10	32.9	32.7	10.2	32.3	33.0	10.0	0.70	22.7
6	12	32.5	32.3	9.9	31.8	32.8	9.6	0.74	21.5
7	14	32.6	32.7	10.0	31.8	32.9	9.6	0.72	35.2
8	16	32.8	33.1	10.3	31.8	33.6	9.9	0.69	38.2
9	18	33.7	32.6	10.7	32.4	33.8	10.3	0.71	35.2
10	20	33.4	32.6	10.5	32.1	33.7	10.1	0.72	37.5
11	22	33.0	33.1	10.4	31.8	33.6	9.9	0.70	48.8
12	24	32.8	32.0	9.9	31.5	33.3	9.6	0.72	30.0
13	26	33.3	32.5	10.4	32.0	33.8	10.0	0.74	31.7
14	28	33.5	33.4	10.8	32.4	32.8	10.0	0.74	75.8
15	30	33.1	33.5	10.6	31.5	34.0	9.8	0.72	70.4
Average		33.1	33.1	10.5	32.2	33.2	10.0	0.71	45.5

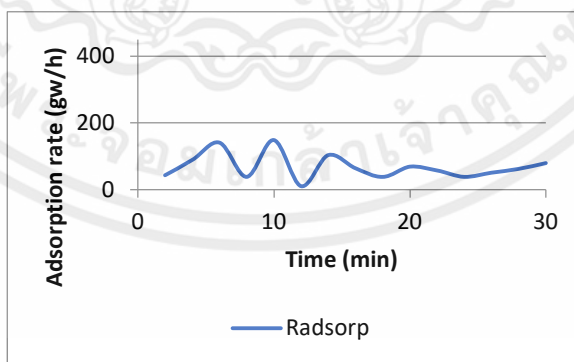


รูปที่ ข.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.12 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 12 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 20 g_w/kg_{da}

M = 90 Kg/h

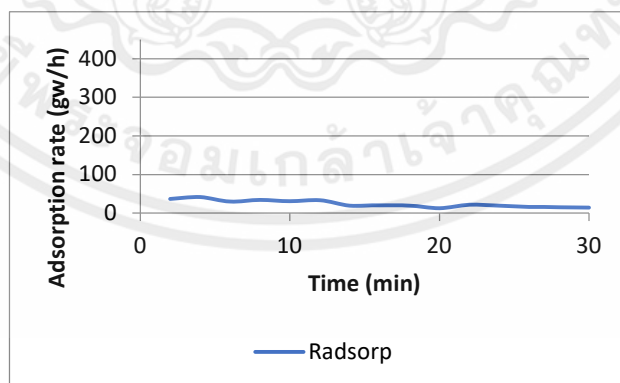
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.7	58.4	19.4	36.1	49.9	18.9	0.91	43.4
2	4	33.4	63.5	20.7	35.3	54.5	19.8	0.94	88.9
3	6	33.8	64.9	21.7	34.8	57.1	20.1	0.92	140.9
4	8	32.9	63.8	20.2	34.2	58.1	19.8	0.93	38.9
5	10	32.6	66.4	20.7	33.7	57.6	19.1	0.95	148.7
6	12	32.5	64.2	19.9	33.9	59.0	19.8	0.93	11.0
7	14	32.9	65.4	20.8	33.6	59.5	19.6	0.95	103.8
8	16	32.9	65.1	20.7	33.6	60.5	20.0	0.94	64.3
9	18	32.6	63.9	19.9	33.5	59.5	19.5	0.96	38.1
10	20	32.5	65.3	20.3	33.4	59.8	19.5	0.95	69.1
11	22	32.5	66.9	20.8	33.9	60.0	20.1	0.94	57.8
12	24	32.7	64.1	20.1	33.9	58.7	19.7	0.96	38.4
13	26	33.2	63.5	20.5	34.0	59.1	19.9	0.94	50.9
14	28	33.0	65.1	20.8	33.9	59.9	20.1	0.95	62.5
15	30	33.6	63.7	21.0	33.9	60.1	20.2	0.94	79.4
Average		33.0	64.3	20.5	34.1	58.2	19.7	0.94	69.1



รูปที่ ข.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.13 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 13 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{sda} M = 60 Kg/h

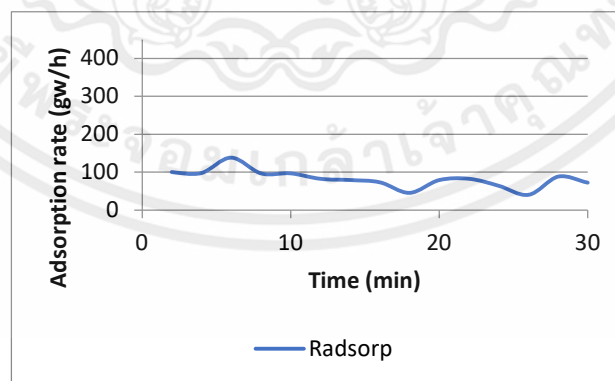
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{sda})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{sda})	ΔP (KPa)	Adsorpti on rate (g _w /h)
1	2	32.5	49.9	15.4	34.0	44.1	14.8	0.48	36.6
2	4	32.9	49.1	15.5	33.7	44.9	14.8	0.38	41.4
3	6	33.0	47.2	14.9	33.5	44.4	14.4	0.41	29.9
4	8	32.6	48.5	15.0	32.9	45.9	14.4	0.40	34.6
5	10	33.2	46.8	15.0	32.9	46.0	14.5	0.42	30.8
6	12	32.8	47.6	14.9	32.7	46.1	14.3	0.42	33.8
7	14	32.9	47.3	14.9	32.7	46.8	14.6	0.45	19.8
8	16	33.2	49.7	15.9	33.0	49.2	15.6	0.47	20.7
9	18	33.1	48.1	15.3	32.8	47.9	15.0	0.46	19.6
10	20	32.9	48.8	15.4	32.8	48.4	15.2	0.48	13.0
11	22	33.0	48.1	15.2	32.4	48.6	14.9	0.42	21.7
12	24	32.9	48.0	15.1	32.3	48.6	14.8	0.44	19.6
13	26	33.1	48.8	15.5	32.5	49.6	15.3	0.48	16.5
14	28	33.0	48.9	15.5	32.6	49.2	15.2	0.48	15.5
15	30	32.9	47.9	15.1	32.4	48.5	14.8	0.47	14.4
Average		32.9	48.3	15.2	32.9	47.2	14.8	0.44	24.5



รูปที่ ข.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.14 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 14 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{da}
M = 120 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.5	46.5	15.1	36.0	38.3	14.3	2.23	100.3
2	4	34.0	48.0	16.1	35.8	41.3	15.3	2.29	97.8
3	6	33.7	49.0	16.2	35.0	42.4	15.0	2.29	138.7
4	8	33.2	48.3	15.5	34.9	41.7	14.7	2.30	96.7
5	10	32.7	49.2	15.3	34.2	42.9	14.5	2.31	97.3
6	12	33.2	47.9	15.3	34.5	42.6	14.7	2.32	82.4
7	14	32.6	48.9	15.1	34.2	42.8	14.5	2.32	79.5
8	16	33.0	47.6	15.1	34.3	42.5	14.5	2.33	73.8
9	18	32.8	48.1	15.1	34.4	42.9	14.7	2.31	45.6
10	20	32.9	48.4	15.2	34.2	43.1	14.6	2.38	79.3
11	22	33.0	48.3	15.3	33.9	43.9	14.6	2.31	82.9
12	24	33.4	47.4	15.3	34.4	43.3	14.8	2.40	64.3
13	26	32.7	48.1	15.0	34.1	43.5	14.6	2.34	40.3
14	28	33.0	48.0	15.2	34.1	43.0	14.5	2.35	88.3
15	30	32.5	48.0	14.8	33.9	42.6	14.2	2.36	72.6
Average		33.1	48.1	15.3	34.5	42.5	14.6	2.32	82.7

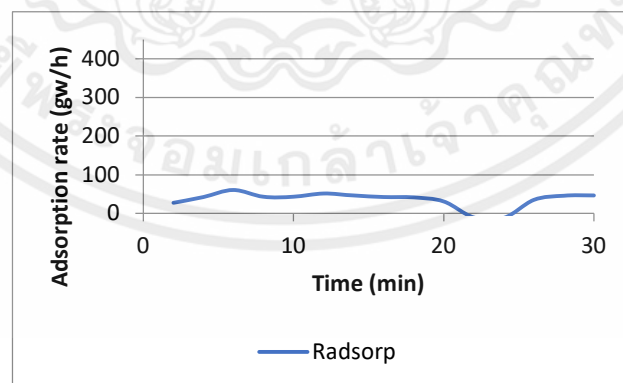


รูปที่ ข.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 15 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 90 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.9	47.0	15.7	37.8	37.2	15.3	0.99	27.9
2	4	33.9	48.0	16.0	37.0	39.3	15.5	0.97	42.3
3	6	33.0	48.8	15.5	35.3	41.1	14.8	0.98	60.9
4	8	32.8	46.2	14.4	34.0	41.8	14.0	0.99	43.1
5	10	33.0	46.0	14.5	33.7	42.8	14.1	0.98	43.3
6	12	33.0	48.2	15.3	33.8	44.4	14.7	0.99	51.5
7	14	32.9	49.7	15.7	33.7	46.0	15.1	0.98	46.2
8	16	32.8	49.1	15.4	33.5	45.8	14.9	0.97	42.3
9	18	32.9	49.2	15.5	33.5	46.2	15.0	0.98	41.2
10	20	32.8	48.9	15.3	33.3	46.5	15.0	0.98	31.1
11	22	32.6	49.0	15.2	33.1	48.0	15.3	0.99	-10.5
12	24	32.7	49.1	15.3	33.1	48.4	15.4	0.99	-11.5
13	26	32.5	48.2	14.8	32.6	46.7	14.4	0.99	35.0
14	28	33.0	47.4	15.0	32.7	46.6	14.5	0.98	46.0
15	30	32.9	49.0	15.4	32.9	47.4	14.9	0.98	46.4
Average		33.0	48.3	15.3	34.0	44.5	14.9	0.98	35.7

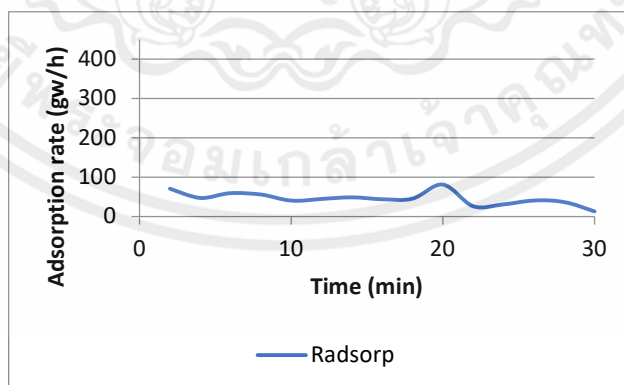


รูปที่ ข.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 16 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 90 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	32.9	49.0	15.4	34.5	42.6	14.7	0.97	70.2
2	4	32.3	49.5	15.1	33.3	45.2	14.5	0.97	47.3
3	6	32.4	51.3	15.7	33.1	47.3	15.1	0.96	59.3
4	8	32.3	48.1	14.6	32.5	45.6	14.0	0.97	55.5
5	10	32.7	48.3	15.0	32.7	46.9	14.6	0.97	40.1
6	12	32.9	49.3	15.5	33.0	47.5	15.0	0.97	44.5
7	14	33.2	48.9	15.7	33.0	47.8	15.1	0.96	48.2
8	16	33.3	50.3	16.2	33.2	49.1	15.7	0.96	43.9
9	18	32.9	48.2	15.2	32.8	46.9	14.7	0.97	45.3
10	20	33.0	47.8	15.1	32.5	46.3	14.2	0.98	81.1
11	22	33.4	46.9	15.2	32.8	47.6	14.9	0.96	26.1
12	24	33.1	49.0	15.6	32.9	48.5	15.3	0.96	30.6
13	26	33.2	48.9	15.7	32.8	48.6	15.2	0.97	40.7
14	28	33.3	50.4	16.3	33.0	50.0	15.8	0.96	36.7
15	30	33.0	49.1	15.6	32.8	49.2	15.4	0.96	13.1
Average		32.9	49.0	15.5	33.0	47.3	15.0	0.97	45.5

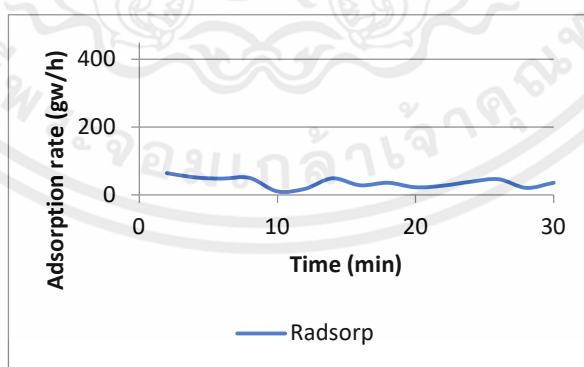


รูปที่ ข.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 17 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 90 Kg/h

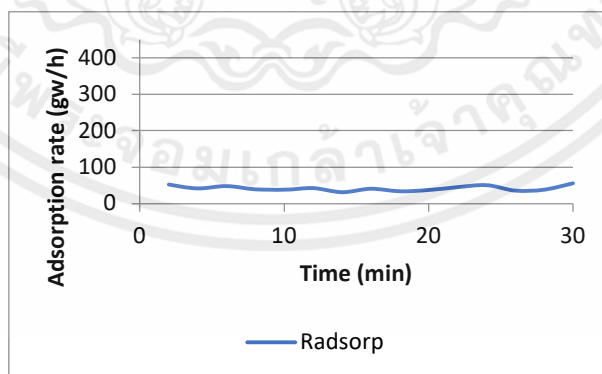
No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.2	45.9	14.7	34.0	41.8	14.0	0.92	64.4
2	4	32.9	47.6	15.0	33.5	44.3	14.4	0.94	51.7
3	6	32.9	48.8	15.4	33.3	46.1	14.8	0.93	48.0
4	8	33.5	48.7	15.9	33.4	47.3	15.3	0.93	50.0
5	10	33.5	48.0	15.6	33.6	47.4	15.5	0.92	10.0
6	12	33.3	47.9	15.4	33.6	46.5	15.2	0.92	18.2
7	14	33.1	48.2	15.3	33.0	46.8	14.8	0.93	48.8
8	16	33.3	49.1	15.8	33.1	48.7	15.5	0.93	28.0
9	18	33.1	48.1	15.3	32.9	47.4	14.9	0.94	36.1
10	20	32.9	48.4	15.2	32.8	47.9	15.0	0.92	22.3
11	22	33.0	48.4	15.3	32.8	48.0	15.0	0.94	27.3
12	24	32.8	47.5	14.9	32.4	47.2	14.4	0.93	38.9
13	26	33.0	47.9	15.2	32.4	47.9	14.6	0.93	46.4
14	28	32.9	48.2	15.2	32.6	48.3	14.9	0.93	20.5
15	30	33.2	48.1	15.4	32.6	48.5	15.0	0.93	35.6
Average		33.1	48.1	15.3	33.1	46.9	14.9	0.93	36.4



รูปที่ ข.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.18 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 18 ผงถ่านชาร์โคล T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{da} M = 90 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.5	49.0	16.0	34.7	44.2	15.4	0.92	52.5
2	4	32.8	49.2	15.4	33.7	45.4	14.9	0.95	41.9
3	6	32.9	48.5	15.3	33.1	46.3	14.7	0.96	48.7
4	8	32.9	48.2	15.2	33.1	46.3	14.7	0.93	39.9
5	10	32.5	49.4	15.2	32.7	47.5	14.8	0.94	38.6
6	12	33.6	47.6	15.6	33.1	47.5	15.1	0.95	42.6
7	14	32.6	50.8	15.7	33.4	47.5	15.4	0.96	32.0
8	16	32.7	49.7	15.5	33.1	47.2	15.0	0.94	41.0
9	18	33.0	48.5	15.4	32.6	48.4	15.0	0.95	34.3
10	20	33.3	48.5	15.6	32.9	48.3	15.2	0.94	37.8
11	22	33.5	47.8	15.6	33.0	47.6	15.1	0.95	45.5
12	24	33.2	47.6	15.2	32.5	47.7	14.7	0.94	51.3
13	26	33.0	48.0	15.2	32.5	48.1	14.8	0.95	36.0
14	28	32.9	47.8	15.0	32.4	47.8	14.6	0.95	38.5
15	30	32.7	48.7	15.2	32.1	48.4	14.6	0.95	55.9
Average		33.0	48.6	15.4	33.0	47.2	14.9	0.95	42.4

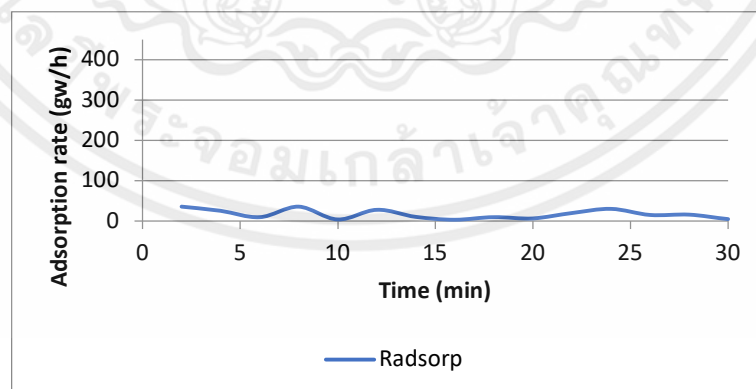


รูปที่ ข.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับความชื้นกับเวลา

ตารางที่ ข.19 ตารางบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 1 ไยซานอ้อย T = 33 °C W = 15 g_w/kg_{da}

M = 90 Kg/h

No.	Time (min)	T _{in} (°C)	RH _{in} (%RH)	W _{inlet} (g _w /kg _{da})	T _{out} (°C)	RH _{out} (%RH)	W _{outlet} (g _w /kg _{da})	ΔP (KPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	2	33.5	47.0	15.3	34.4	43.3	14.8	0.81	44.2
2	4	33.5	46.9	15.3	33.6	45.6	14.9	0.80	31.3
3	6	33.4	47.2	15.3	33.4	46.8	15.2	0.81	11.9
4	8	33.5	48.9	15.9	33.4	47.7	15.4	0.81	44.1
5	10	33.3	47.9	15.4	33.7	46.7	15.4	0.82	4.3
6	12	32.9	48.7	15.3	32.9	47.5	14.9	0.81	34.8
7	14	32.8	48.4	15.2	32.6	48.5	15.0	0.83	12.8
8	16	32.8	48.1	15.1	32.5	48.8	15.0	0.82	3.4
9	18	32.7	48.5	15.1	32.4	48.9	15.0	0.83	12.0
10	20	32.5	48.0	14.8	32.1	48.8	14.7	0.82	8.2
11	22	32.6	48.1	14.9	32.1	48.6	14.6	0.81	24.3
12	24	33.3	48.8	15.7	32.4	50.0	15.3	0.81	37.6
13	26	33.7	49.1	16.2	32.8	51.0	16.0	0.82	18.5
14	28	33.6	47.9	15.7	33.1	48.6	15.5	0.82	19.4
15	30	33.2	47.7	15.3	32.8	48.6	15.2	0.82	5.3
Average		33.2	48.1	15.4	32.9	48.0	15.1	0.82	20.8



รูปที่ ข.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดูดซับความชื้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณัฐพัชร วิเชียรรัตน์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดระนอง
 ที่อยู่ 194/3 หมู่2 ตำบลน้ำจืด อำเภอกระบุรี จังหวัด
 ระนอง 85110
 E-mail 61512038@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนศรีอยุธยาจังหวัดชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วนแผนกรอกและเครน จากบริษัทกรุงเทพผลิตเหล็กจำกัด (มหาชน) จังหวัดสมุทรปราการ

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายนิธิวิทย์ สอาด
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 51/1 หมู่2 ตำบลทุ่งระยะ อำเภอสวี
 จังหวัดชุมพร 86130
 E-mail north41374@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียน ศรีราษฎร์ จังหวัด ชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงาน ในส่วนการแผนก Utility จากบริษัท อินโดรามา โพลีเอสเตอร์ อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน) จังหวัด นครปฐม

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายวิทยา เทียมกิ่งทอง
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ 56/12 หมู่4 ตำบลวังกั๊พง อำเภอปราณบุรี
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77120
 E-mail lynnlynnnene@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียน ฉวางรัชดาภิเษก จังหวัดนครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร